

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierernährung  
der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. Kurt Bronsch

---

Die Rückstreuung von Beta-Partikeln  
als Maß für die Eischalenqualität

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin

an der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Avnish Lugani

Tierarzt

aus Sharakpur (Indien)

Berlin 1972

Journal-Nr. 774



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierernährung  
der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. Kurt Bronsch

---

Die Rückstreuung von Beta-Partikeln  
als Maß für die Eischalenqualität

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin

an der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Avnish Lugani

Tierarzt

aus Sharakpur (Indien)

Berlin 1972

Journal-Nr. 774



Gedruckt mit Genehmigung des  
Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Vorsitzender des Fachbereichs: Prof. Dr. J. Boch

Referent: Prof. Dr. K. Lörcher

Korreferent: Prof. Dr. K. Bronsch

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Februar 1972

# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                                                    | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| I. EINLEITUNG                                                                                                      | 1     |
| II. LITERATUR                                                                                                      | 2     |
| A. Ermittlung des Knick- und Brucheieranfalls                                                                      | 2     |
| B. Meßverfahren zur Beurteilung der Eischalenstabilität                                                            | 3     |
| 1. Destruktive Methoden                                                                                            | 3     |
| 2. Nicht destruktive Methoden                                                                                      | 5     |
| Eigene Untersuchungen                                                                                              |       |
| III. ARBEITSPLAN                                                                                                   | 12    |
| IV. MATERIAL UND METHODE                                                                                           | 13    |
| A. Material                                                                                                        | 13    |
| B. Zur Meßtechnik                                                                                                  | 14    |
| C. Versuchsanstellung zur Ermittlung der Beta-Rückstreuung an Hühnereiern                                          | 15    |
| V. ERGEBNISSE                                                                                                      | 18    |
| A. Zur Optimierung der Meßanordnung                                                                                | 18    |
| B. Zum Einfluß der Geometrie des Meßguts auf die Beta-Rückstreuung                                                 | 19    |
| C. Zur Beta-Rückstreuung an Hühnereiern                                                                            | 20    |
| VI. DISKUSSION                                                                                                     | 26    |
| A. Zur Optimierung der Meßanordnung                                                                                | 26    |
| B. Zur Beta-Rückstreuung an Hühnereiern                                                                            | 28    |
| C. Beziehungen zwischen den an Hühnereiern gemessenen Beta-Rückstreuwerten und anderen Eischalenqualitätskriterien | 31    |
| VII. ZUSAMMENFASSUNG                                                                                               | 33    |
| VIII. LITERATURVERZEICHNIS                                                                                         | 35    |



## I. EINLEITUNG

Dem wachsenden Vogelembryo dient die Eischale als Calciumquelle zur Mineralisierung des Skeletts sowie als poröse Schutzhülle, die vom schlüpfenden Küken durchbrochen wird. Die art-erhaltende, geringe mechanische Belastbarkeit der Kalkschale ist jedoch für den Erzeuger wie für den Konsumenten von Hühnereiern ein Nachteil, wenn deren Schale als natürliche Verpackung eines hochwertigen Nahrungsmittels betrachtet wird.

Bei den heute vorwiegend gehaltenen, auf hohe Legeleistung gezüchteten Hybridhennen wird der Anteil an Knick- und Bruch-eiern auf etwa 10 % geschätzt, wodurch allein in der Bundesrepublik Deutschland Verluste in Höhe von ca. 20 Millionen DM entstehen.

Geeignete Meßkriterien zur Erfassung der Eischalenstabilität sind Voraussetzung, um genetische, ernährungs- und haltungsbedingte Einflüsse auf dieses Merkmal untersuchen zu können. Bislang verwendete Verfahren zur Beurteilung der Eischalenstabilität sind z. T. sehr zeitaufwendig und oft mit der Beschädigung der Eischalen verbunden. JAMES und RETZER (1967) schlugen daher vor, die Rückstreuung energiereicher Beta-Korpuskeln am unversehrten Ei als Maß für die Eischalenstabilität heranzuziehen.

In der vorliegenden Dissertation soll die Beta-Rückstreuung auf ihre Brauchbarkeit als Eischalenstabilitätskriterium geprüft und mit Daten der Bruchfestigkeitsmessung verglichen werden.

## II. LITERATUR

Aus den Wechselbeziehungen zwischen Ei und den darauf einwirkenden Kräften ergibt sich als Resultante der Anteil an Knick- und Brucheiern, der für Produzenten, Händler und Verbraucher von Eiern ökonomische Bedeutung besitzt. CARTER (1970) ist auf die vielen Faktoren, aus denen sich die komplexe Größe "Eischalenstabilität" zusammensetzt, im einzelnen eingegangen. Sofern sie die Eigenschaften des Eies und dessen Schale betreffen, sind sie als Durchschnittswerte aus Literaturangaben in Tabelle 1 aufgenommen worden.

Die umfangreiche Literatur über das Thema Eischalenqualitätsbeurteilung wurde u.a. von TYLER (1961) sowie von WELLS (1968) und zuletzt von PETERSEN (1969) zusammengestellt. Auf eine erneute und ausführliche Besprechung der gesamten zu diesem Problemkreis vorliegenden Originalarbeiten wird daher verzichtet.

Nach einem einführenden Überblick über die gebräuchlichsten Methoden zur Beurteilung der Eischalenstabilität sollen im Hauptteil dieses Kapitels das Prinzip der Beta-Rückstreu-Meßtechnik und die damit bisher gewonnenen Ergebnisse anderer Autoren eingehend geschildert werden und eine kritische Würdigung erfahren.

### A. Ermittlung des Knick- und Brucheiernfalls

Die einfachste und unter praktischen Bedingungen oft einzige Möglichkeit, die Eischalenstabilität abzuschätzen, ist die Ermittlung des Knick- und Brucheiernfalls. Hierbei werden innerhalb eines Kollektivs alle Eier mit zerbrochener, geknickter oder haarrissiger Schale gezählt.

Tabelle 1

Durchschnittliche Maße des Hühnereies  
unter besonderer Berücksichtigung der Schale

(Zusammengestellt nach ROMANOFF und ROMANOFF (1949),  
TYLER (1961), RAUCH (1965) und SIEWERT und BRONSCH (1971))

|                                                                      |                            |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Eigewicht .....                                                      | 58 g                       |
| Eischalengewicht .....                                               | 5,0 g                      |
| Eivolumen .....                                                      | 53 cm <sup>3</sup>         |
| Umfang des Eies von Pol zu Pol ....                                  | 15,7 cm                    |
| Umfang des Eies am Äquator .....                                     | 13,5 cm                    |
| Form-Index $\frac{(\text{Breite} \times 100)}{(\text{Länge})}$ ..... | 74                         |
| Oberfläche .....                                                     | 68 cm <sup>2</sup>         |
| Eischalenflächengewicht .....                                        | 50 - 80 mg/cm <sup>2</sup> |
| Dicke der gesamten Eischale .....                                    | 0,31 mm                    |
| Dicke der Cuticula .....                                             | 10 µ                       |
| Dicke der Eischalenmembran .....                                     | 60 - 125 µ                 |
| Porenzahl der gesamten Eischale ....                                 | 6000 - 10000               |
| Spezifisches Gewicht <sup>+</sup> des ganzen Eies                    | 1,09                       |
| Spezifisches Gewicht <sup>+</sup> der Eischale ..                    | 2,30                       |
| Spezifisches Gewicht <sup>+</sup> des Eiinhalts ..                   | 1,0                        |
| Deformation der Eischale<br>bei Belastung mit 500 g .....            | 27,4 µm                    |
| Deformation der Eischale<br>bei Belastung mit 1000 g .....           | 57,7 µm                    |
| Bruchfestigkeit .....                                                | 3 kp                       |

<sup>+</sup> Spezifisches Gewicht: Formel  $\frac{G_{\text{Luft}}}{G_{\text{Luft}} - G_{\text{Wasser}}}$

In Abhängigkeit verschiedener Haltungs- und Transportbedingungen bestimmten u.a. TYLER und GEAKE (1960), SCHOORL und BOERSMA (1962), BOWMANN und CHALLNDAR (1963), WELLS (1967a, b), SHRIMPTON und HANN (1967) sowie ANDERSON et al. (1970) den Anfall an Knick- und Brucheiern und verglichen diese Größe mit anderen Eischalenstabilitätsmerkmalen. Die jeweils errechneten Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 2 zusammengestellt worden.

Das Ausmaß des Knick- und Brucheieranfalls erlaubt allerdings nur eine pauschale Beurteilung der Eischalenstabilität unter im einzelnen nicht näher definierten Bedingungen: Größe, Richtung und Angriffspunkt der auf die Eier einwirkenden Kräfte sind ebenso wie die Eischalenbeschaffenheit unbekannt; das Ergebnis der Wechselbeziehungen zwischen diesen Parametern liegt nur summarisch als Ja-Nein-Information (versehrte - unversehrte Schale) vor. Aus diesem Grunde sind sowohl destruktive als auch nicht destruktive Verfahren entwickelt worden, die zu Maßzahlen führen, welche die Schalenstabilität direkt oder indirekt charakterisieren.

## B. Meßverfahren zur Beurteilung der Eischalenstabilität

### 1. Destruktive Methoden

Hierbei wird die Eischale beschädigt, womit eine Wertminderung des Eies verbunden ist.

Abgesehen von der indirekten Beurteilung der Eischalenstabilität anhand von Dickenmessungen der Eischale mit Hilfe der von RAUCH (1958) entwickelten Meßuhr oder einer Mikrometerschraube (SCHOLTYSEK, 1968), wird durch die destruktiven Verfahren die Schalenfestigkeit direkt getestet, und zwar je nach Art der

Tabelle 2

Korrelationskoeffizienten (r) zwischen verschiedenen  
Eischalen-Stabilitätsmerkmalen

|                                               | r               | Autor                   |      |
|-----------------------------------------------|-----------------|-------------------------|------|
| I. Knickeieranfall :                          |                 |                         |      |
| Bruchfestigkeit                               | -0,61           | PETERSEN                | 1969 |
| Schalendicke                                  | -0,861          | BOWMANN u.<br>CHALLNDAR | 1963 |
| Eischalenflächengewicht g/cm <sup>2</sup>     | -0,769          | WELLS                   | 1967 |
| spezifisches Gewicht                          | -0,73           | WELLS                   | 1967 |
| Deformation                                   | +0,497          | WELLS                   | 1967 |
| II. Bruchfestigkeit :                         |                 |                         |      |
| Schalendicke                                  | +0,65           | HUNT u. VOISEY          | 1966 |
| Eischalenflächengewicht g/cm <sup>2</sup>     | +0,84           | TUNG et al.             | 1968 |
| spezifisches Gewicht                          | +0,45 bis +0,75 | HUNT u. VOISEY          | 1966 |
| Deformation                                   | -0,75 bis -0,83 | HUNT u. VOISEY          | 1966 |
| Schalenporosität                              | -0,18 bis -0,33 | AKAPINAR u.<br>RAUCH    | 1968 |
| Eigewicht                                     | +0,11           | RAUCH                   | 1960 |
| III. Eischalendicke :                         |                 |                         |      |
| spezifisches Gewicht                          | +0,76 bis +0,80 | HUNT u. VOISEY          | 1966 |
| Eischalenflächengewicht g/cm <sup>2</sup>     | +0,92           | RICHARDS u.<br>STALEY   | 1967 |
| Porenzahl der Eischale                        | -0,26 bis -0,42 | AKAPINAR u.<br>RAUCH    | 1968 |
| Durchschnittliche Eischalendicke :            |                 |                         |      |
| durchschnittlicher Eischalen-<br>deformation  | -0,80 bis -0,82 | GRUHN u.<br>TSCHAMI     | 1966 |
| IV. Spezifisches Gewicht des<br>ganzen Eies : |                 |                         |      |
| Eischalenflächengewicht g/cm <sup>2</sup>     | +0,91 bis +0,92 | WELLS                   | 1967 |
| Eischalendeformation                          | -0,87           | WELLS                   | 1967 |
| Porenzahl der Eischale                        | -0,63 bis -0,76 | AKAPINAR u.<br>RAUCH    | 1968 |

|                                           | r     | Autor                 |      |
|-------------------------------------------|-------|-----------------------|------|
| V. Deformation :                          |       |                       |      |
| Eischalenflächengewicht g/cm <sup>2</sup> | -0,85 | TUNG et al.           | 1968 |
| prozentualer Schalenanteil                | -0,80 | SCHOORL u.<br>BOERSMA | 1962 |
| VI. Beta-Rückstreuung :                   |       |                       |      |
| Eischalendicke                            | +0,61 | JAMES et al.          | 1967 |
| spezifisches Gewicht                      | +0,28 | JAMES et al.          | 1967 |
| impact-test (Stoß-Methode)                | +0,84 | JAMES et al.          | 1967 |
| Eischalendeformation (500 g Auflage)      | -0,42 | HUNTON                | 1969 |
| Eigewicht                                 | +0,23 | HUNTON                | 1969 |
| a. Bruchfestigkeit (force)                | +0,34 | HUNTON                | 1969 |
| b. Deformation beim Bruch                 | -0,14 | HUNTON                | 1969 |
| a : b (Stiffness)                         | +0,47 | HUNTON                | 1969 |
| $\frac{a \times b}{2}$ (energy absorbed)  | +0,20 | HUNTON                | 1969 |

einwirkenden Belastung

- 1.1. gegenüber Stoßimpulsen,
- 1.2. gegenüber kontinuierlich erhöhtem Druck.

Als direktes Maß für die Stabilität der Eischale oder einer Eischalenpartie bis zu deren Bruch wurden bei den Stoßmethoden u. a. folgende Kriterien verwendet:

- 1.1.1. Eigewicht und Fallhöhe des intakten Eies  
(NOVIKOFF und GUTTERIDGE, 1949),
- 1.1.2. die Häufigkeit des Aufpralls von Stahlkugeln definierten Gewichts aus einer festgesetzten Fallhöhe  
(TYLER und GEAKE, 1964),
- 1.1.3. die Fallhöhe von Stahlkugeln gleichen Gewichts  
(SWENSON und JAMES, 1932),
- 1.1.4. die Steigerung des Gewichts der aufprallenden Stahlkugel bei gleichbleibender Fallhöhe (THORNBERRY Bros. Ltd., 1960).

Bei den Druckfestigkeitsprüfungen wird der mechanisch oder hydraulisch erzeugte Druck über unterschiedlich gestaltete Kontaktflächen auf das Ei übertragen und die bis zum Zerschlagen der Schale notwendige Kraft als Maßstab zur Eischalenstabilität benützt.

Von den Druckwiderstandsmessungen seien folgende Verfahren angeführt:

- 1.2.1. Bei der von RAUCH (1958) entwickelten Methode wird das Ei an den Polen zwischen zwei Metallringe gespannt, die manuell oder mit Hilfe eines Elektromotors über ein Gewinde einander näher gebracht werden und auf diese Weise das Ei zusammenpressen. Die bis zum Bruch der Eischale aufgewandte Kraft, die auf eine Feder übertragen wird, läßt sich an einem damit in Verbindung stehenden Nonius ablesen.

1.2.2. Die hydrostatischen Verfahren, bei denen entweder der von außen und allseitig auf das Ei einwirkende Kompressionsdruck gesteigert (WELLS, 1967 a) oder im Eiinnern ein wachsender Überdruck erzeugt wird (SLUKA et al., 1965), besitzen gegenüber den anderen destruktiven Methoden zur direkten Bestimmung der Eischalenstabilität den Vorteil, daß die Schale an deren schwächstem Punkt bricht, da die gesamte Eischalenfläche jeweils einem gleich großen Druck von außen bzw. innen ausgesetzt wird.

## 2. Nicht destruktive Methoden

Hierunter fallen alle Verfahren, die bei intakt bleibender Eischale deren Stabilität indirekt zu charakterisieren versuchen.

### 2.1. Zur Ermittlung des spezifischen Gewichts (Dichte):

Aus den erheblichen Differenzen des spezifischen Gewichts zwischen Eihalt und -Schale (siehe Tabelle 1) läßt sich ableiten, daß das spezifische Gewicht des Gesamteies maßgeblich von dessen Schalenanteil abhängt.

Die Dichtebestimmung wird entweder gravimetrisch unter Ausnutzung des Archimedischen Prinzips oder nach dem Tauchverfahren vorgenommen, das sich vor allem für Routineuntersuchungen bewährt hat. Hierbei werden die zu testenden Eier in einen Drahtkorb verbracht und in eine Reihe von Salzlösungen ansteigender Dichte (1,066 - 1,102) eingetaucht. Übersteigt die Dichte der Salzlösung diejenige des Eies, so wird dieses an die Oberfläche getrieben und entsprechend klassifiziert.

### 2.2. Die Deformation des Eies

Hierunter wird die elastische Verformung bzw. Durchbiegung der Eischale unter definierter Belastung verstanden; die Deformation des Eies infolge kontinuierlich gesteigerten Auflagegewichts (100 g/sec)

auf den Äquatorialbereich wird synchron aufgezeichnet (BROOKS und HALE, 1955). Auf diese Weise kann das Ausmaß der Verformung für jede Belastungsstufe ermittelt werden. Die maximale Deformation kurz vor der Bruchauslösung beträgt nach SCHOORL und BOERSMA (1962) 110 - 170  $\mu\text{m}$ . Andere Autoren (GRUHN und TSCHAMI, 1966; WELLS, 1967; PETERSEN, 1969) verwenden bei Eischalendeformationsmessungen konstante Belastungsgewichte (500 bzw. 1000 g) und erzielen dabei sehr gute Wiederholbarkeitskoeffizienten von 0,93 - 0,97 am Äquator.

Apparative Verbesserungen zur Ermittlung der elastischen Verformung von Eischalen wurden von PETERSEN (1969) realisiert, der beschreibende und vergleichende statistische Maßzahlen dieses Eischalenstabilitätsmerkmals in einer ausführlichen Dissertationsarbeit publiziert hat.

### 2.3. Die Beta-Rückstreuung als Eischalenstabilitätskriterium

Für die Messung der Dicke bzw. Dichte verschiedener Materialien wird in einigen Sparten der Industrie schon seit Jahren auch die Streuung von Kernstrahlen herangezogen. JAMES und RETZER (1967) ermittelten als erste an Hühnereiern die Rückstreuung von Beta-Korpuskeln mit dem Ziel, damit die Eischalenstabilität zu beurteilen.

Die Methode beruht auf folgendem Prinzip: Treten Beta-Partikel mit Materie in Wechselwirkung, so werden sie verlangsamt und ändern dabei ihren ursprünglichen Kurs oder prallen zurück. Im letztgenannten Fall spricht man von Rückstreupartikeln, die mit geeigneter Meßanordnung registriert werden können. Bis zum Eintritt der Sättigung erhöht sich die Anzahl der rückgestreuten Beta-Teilchen mit zunehmendem Flächengewicht (Masse/Flächeneinheit). Bei weiterer Zunahme der Massenbelegung ist die Beta-Rückstreuung nicht mehr zu steigern.

Der Sättigungsbereich für die Rückstreuung ist durch die energieabhängige, im allgemeinen in  $\text{mg}/\text{cm}^2$  angegebene Reichweite der Beta-Teilchen bestimmt; näherungsweise gilt, daß etwa bei 1/5 der maximalen Reichweite die Beta-Rückstreuung ihren Sättigungswert erreicht. Für eine gegebene Beta-Strahlung tritt die Rückstreuungssättigung stets beim selben Flächengewicht, also unabhängig vom jeweils verwendeten Material ein. Der Anteil der rückgestreuten Beta-Teilchen, auch als Rückstreufaktor bezeichnet, ist dagegen von der Ordnungszahl des im Strahlenfeld befindlichen Materials abhängig, da die Rückstreuung bei Elementen höherer Ordnungszahl nicht nur an der Atomhülle, sondern in zunehmendem Maße an den Nukleonen erfolgt.

HAMMERLE (1969) wies auf die Bedeutung dieser Tatsache besonders hin: Mit Hilfe der Beta-Rückstreuung könne entweder die Dicke eines Materials konstanter Dichte oder die Dichte eines gleichbleibend dicken Präparats eindeutig charakterisiert werden. Bei der Ermittlung der Beta-Rückstreuung an Eiern sei daher mit Interaktionen zu rechnen, die sich aus den jeweils wechselnden Anteilen in der elementaren Zusammensetzung des Rückstreumaterials ergäben. Dies ist im Prinzip durchaus zutreffend. Unter praktischen Gegebenheiten wird jedoch das Gewichtsverhältnis zwischen anorganischer und organischer Substanz bei Eischalen entscheidend von der anorganischen Fraktion bestimmt, deren Rückstreufaktor erheblich über dem der organischen Bestandteile liegt. Aus diesem Grunde können die an Eischalen ermittelten Differenzen der Beta-Rückstreuraten im wesentlichen auf den Mineralisierungsgrad der Eischalen zurückgeführt werden.

Das Flächengewicht von Eischalen liegt etwa zwischen 40 und  $80 \text{ mg}/\text{cm}^2$ . Um Flächengewichtsdifferenzen in diesem Bereich mit Hilfe der Beta-Rückstreuung feststellen zu können, müssen Beta-Strahlen verwendet werden, deren Energie groß genug ist,

daß die Rückstreu sättigung erst oberhalb der genannten Massenbelegung eintritt. Diese Bedingungen erfüllen von den Beta-Partikel emittierenden Nukliden mit einer Halbwertszeit (HWZ) von mehr als 280 Tagen nur folgende 3 Mutter-Tochter-Systeme:

- a)  $^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$ ,  $E_{\text{max}}$  3,55 MeV, HWZ 1 Jahr
- b)  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ,  $E_{\text{max}}$  2,27 MeV, HWZ 28 Jahre
- c)  $^{144}\text{Ce}$ - $^{144}\text{Pr}$ ,  $E_{\text{max}}$  2,98 MeV, HWZ 285 Tage

JAMES und RETZER (1967) verwendeten ein  $^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$ -Präparat mit einer Aktivität von  $10 \mu\text{Ci}$ . Die Beta-Quelle ist in die abgeschrägte Stirnseite eines Wolframstabes von 3,5 mm Durchmesser eingelassen und mit einem Verbindungsstück aus Nickel in der Halterung eines ringförmigen Geiger-Müller-Zählrohrs fixiert worden. Als günstigste Entfernung zwischen Strahlenquelle und Detektor ergab sich ein Abstand von 1,9 cm. Das auf einer gefederten und ringförmig ausgeschnittenen Auflagevorrichtung befindliche Ei wurde mit Hilfe zweier gegenüberliegender, an der Wand des Wolframstabes befestigter Drähte 1,9 mm von der Beta-Quelle entfernt in Meßposition gebracht. Auf diese Weise konnten bei nahezu punktförmiger Bestrahlung der Eier bei einer Meßzeit von 15 sec 40 000 bis 80 000 Rückstreuimpulse registriert werden.

WILSON et al. (1968) ermittelten bei 516 Eiern an verschiedenen Meßpunkten im Durchschnitt folgende Beta-Rückstreuwerte (Angaben in Impulse  $\times 10^3/5 \text{ sec.}$ ):

| Äquator <sub>1</sub> | Äquator <sub>2</sub> | Äquator <sub>3</sub> | stumpfer Pol  | spitzer Pol   |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|---------------|
| $44,8 \pm 9$         | $44,8 \pm 10$        | $44,8 \pm 10$        | $40,1 \pm 12$ | $41,5 \pm 10$ |

Die Korrelationskoeffizienten zwischen Einzelmessungen am Äquator lagen zwischen + 0,84 und + 0,90, während die Einzelmessungen am Äquator mit dem durchschnittlichen Beta-Rückstreuwert im Äquatorialbereich enger korreliert waren (+ 0,94 bis + 0,96);

zwischen der durchschnittlichen Beta-Rückstreuung im Bereich des Äquators und den Messungen am stumpfen bzw. spitzen Pol bestand eine Korrelation von + 0,55 bzw. + 0,72. Die an den Polen gemessenen Beta-Rückstreuwerte wiesen eine Korrelation zwischen + 0,46 und + 0,56 auf.

Die von verschiedenen Autoren berechneten Beziehungen zwischen Beta-Rückstreuwerten und anderen Eischalenstabilitätsmerkmalen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. HUNTON (1969) ermittelte an je 30 Eiern von 10 verschiedenen Leghornlinien eine Reihe von Eischalenstabilitätsmerkmalen und berechnete deren gegenseitige Korrelation (siehe Tabelle 2).

Die Beta-Rückstreuung wurde an 2 gegenüberliegenden Äquatorialpunkten sowie nach dem Kompressionstest an der Bruchstelle ohne nähere Angaben über die verwendete Meßapparatur bestimmt.

Im Durchschnitt aller Eier wurden pro 50 sec. Meßzeit folgende Beta-Rückstreuimpulse gezählt:

|                            | Äquator <sub>1</sub> | Äquator <sub>2</sub> | Mittelwert<br>von 1 und 2 | Bruchstelle |
|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|-------------|
|                            | 111157               | 111122               | 111140                    | 111193      |
|                            | + 2562,8             | + 2681,0             | + 2375,3                  | + 2461,7    |
| Variations-<br>koeffizient | 2,31                 | 2,41                 | 2,14                      | 2,21        |

Die Korrelation zwischen den Beta-Rückstreuwerten am Äquator<sub>1</sub> und Äquator<sub>2</sub> betrug + 0,64 und war demnach nicht so hoch wie die von WILSON et al. (1968) mitgeteilte; zum Mittelwert aus Messung 1 und 2 waren die Einzelmessungen mit + 0,90 bzw. + 0,91 eng korreliert.

Die Varianz der Beta-Rückstreuung ist nach HUNTON (1969) zu 41,5 % auf die Eischalendicke zurückzuführen; unter Hinzunahme der Merkmale Eischalendeformation und -Bruchfestigkeit entfallen 45 % der bei der Beta-Rückstreuung auftretenden Varianz auf diese, der Rest auf andere Ursachen.

Die zwischen den einzelnen Linien festgestellten Differenzen hinsichtlich der Eischalenstabilität waren nach varianzanalytischer Auswertung der Ergebnisse für die Merkmale Eischalendicke, -Deformation und -Bruchfestigkeit hochsignifikant, konnten aber anhand der Beta-Rückstreuemessungen statistisch nicht gesichert werden.

VOISEY und JAMES (1970) verglichen die an 21 Eiern unter verschiedenen Bedingungen ermittelte Beta-Rückstreuung. Meßplatz 1 enthielt als Beta-Quelle ein  $^{90}\text{Strontium}$ - $^{90}\text{Yttrium}$ -Präparat von 12,6  $\mu\text{Ci}$  und als Detektor einen Halbleiter; Meßplatz 2 bestand aus einer Modifikation des von JAMES und RETZER (1967) entwickelten Geräts und war mit einer 10  $\mu\text{Ci}$  starken  $^{106}\text{Ruthenium}$ - $^{106}\text{Rhodium}$ -Quelle und einem Geiger-Müller-Zählrohr ausgestattet. Bei einer Meßzeit von 60 sec betrugen die jeweils gemessenen Beta-Rückstreuimpulse bei Eiern ohne Inhalt, ofengetrocknet, im Durchschnitt

|                       | Meßplatz 1 | Meßplatz 2 |
|-----------------------|------------|------------|
|                       | 1714000    | 30000      |
| Variationskoeffizient | 3,0        | 3,9        |

Zwischen den an den einzelnen Meßplätzen ermittelten Werten bestand eine Korrelation von + 0,677.

Zur ebenfalls gemessenen Eischalendicke wurden folgende Korrelationen errechnet:

|                                    | Meßplatz 1 |                                         | Meßplatz 2 |
|------------------------------------|------------|-----------------------------------------|------------|
| Ei mit Inhalt:                     | + 0,609    |                                         |            |
| Ei ohne Inhalt:                    | + 0,212    |                                         |            |
| Ei ohne Inhalt,<br>getrocknet:     | + 0,601    |                                         |            |
| Ei ohne Inhalt,<br>ofengetrocknet: | + 0,876    | Ei ohne Inhalt,<br>ofengetrocknet:      | + 0,658    |
|                                    |            | Schalen einer Eihälfte:                 | + 0,898    |
|                                    |            | Schalen einer Eihälfte<br>ohne Membran: | + 0,883    |

Bei getrockneten Eischalen ist zwischen deren Dicke ( $y$  in mm) und deren Beta-Rückstreuwert ( $x$  in Impulse  $\cdot 10^3$ ) nachstehende Regression bestimmt worden:  $y = 0,0044 x + 0,314$ .

Von den oben genannten Autoren ist der Einfluß des Eihalts und der -häute auf die Beta-Rückstreuung an weiteren 50 Eiern untersucht worden. Unabhängig von der Vorbehandlung des Meßgutes (Entfernung der Eihäute und/oder des -inhalts) lag der ermittelte Variationskoeffizient der Beta-Rückstreuwerte stets bei 3,2. Hieraus wurde der Schluß gezogen, daß der Einfluß der Eihäute und des -inhalts auf die am intakten Ei gemessene Beta-Rückstreuung eine Konstante darstelle. Dies kann jedoch auf Grund theoretischer Überlegungen nur bei Eiern mit demselben Schalenflächengewicht etwa gleicher elementarer Zusammensetzung zutreffend sein.

Durch Abschleifen der Eischalen mit Sandpapier wurde die Schalendicke im Durchschnitt um 13,2 % von 0,333 auf 0,289 mm reduziert, wobei sich der Variationskoeffizient von 9 auf 21 erhöhte. Hingegen vergrößerte sich durch das Abschleifen der Variationskoeffizient der an Eiern mit Inhalt gemessenen Beta-Rückstreuwerte nur von 3,8 auf 4,1 bei einer Verminderung der Rückstreuimpulse von durchschnittlich 33000 auf 30000 Impulse. Dies zeigt, daß mit Hilfe destruktiver Methoden direkt bestimmte Unterschiede der Schalendicke durch Beta-Rückstreumessungen am intakten Ei mit bedeutend geringerer Empfindlichkeit nachweisbar sind.

## Eigene Untersuchungen

### III. ARBEITSPLAN

Wie aus der gesichteten Literatur hervorgeht, befindet sich das 1967 von JAMES und RETZER vorgeschlagene Verfahren, die Eischalenstabilität zerstörungsfrei mit Hilfe der Beta-Rückstreuung zu charakterisieren, noch im Versuchsstadium.

Eine der Voraussetzungen für die Brauchbarkeit dieser Technik im Routinebetrieb ist die Verkürzung der Meßzeiten, die bei den bislang verwendeten Zählansordnungen zwischen 5 und 60 sec. liegen. Inwieweit dies durch Erhöhung der Aktivität des Beta-Strahlers und Verwendung eines Plastikscintillationsdetektors erreicht werden kann, soll unter verschiedenen Meßbedingungen in eigenen Versuchen geklärt werden.

Hierfür wurde folgender Versuchsplan entwickelt:

Anhand von definiertem Rückstreumaterial ist im meßtechnischen Teil die optimale Geräteeinstellung zu erarbeiten, wobei die Meßgeometrie, die Hochspannung bzw. die Verstärkung zu berücksichtigen sind.

Im angewandten Teil sollen an Hühnereiern die Beeinflussung der Beta-Rückstreurate durch verschiedene variable Faktoren des Meßguts, insbesondere der Einfluß des Einhalts und der -häute, sowie der Eikrümmung und des Frischezustandes der Eier untersucht werden.

Weiterhin sind an verschiedenen Meßpunkten die Variabilität, die Wiederholbarkeit und die jeweiligen Korrelationen zu bestimmen. Schließlich sollen die an Hühnereiern ermittelten Beta-Rückstreuwerte mit den am selben Material gemessenen Merkmalen Bruchfestigkeit bzw. Eischalengewicht verglichen werden.

#### IV. MATERIAL UND METHODE

##### A. Material

###### 1. Meßplatz

Der zur Ermittlung der Beta-Rückstreuung verwendete Meßplatz bestand aus den nachstehend aufgeführten Einzelteilen.

###### 1.1. Beta-Strahlenquelle<sup>+)</sup>

Hierzu diente ein  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ -Präparat von 0,1 mCi, das in das abgeschrägte Ende eines 13 mm langen Wolframstabes von 3,5 mm Durchmesser eingelassen und mit einer 0,03 mm dicken Edelstahl-  
abdeckung versehen ist; das Präparat gilt im Sinne der 1. Strahlenschutzverordnung als umschlossen.

###### 1.2. Detektor

Zum Nachweis der rückgestreuten Beta-Partikel ist ein Plastik-Scintillator (Nuclear-Enterprises Ltd., Typ 102A) mit einem Durchmesser von 2 inches und 6 mm Dicke in Verbindung mit einem Photomultiplier (RCA 6199) benutzt worden. Um diese Dynode befand sich ein zweiteiliger, verstellbarer Plexiglaszylinder, in den eine Halterung für die Strahlenquelle eingebaut worden ist (siehe Abbildung 1); am Oberteil des Plexiglaszylinders war eine Millimeterskala angebracht, um die Entfernung zwischen Quelle und Detektor ablesen zu können. Die Meßsonde befand sich in einer Zählrohrfassung, die in einer als Standfuß dienenden Bleikammer fixiert war.

###### 1.3. Zählgerät

Die Signale des Detektors wurden vorverstärkt, amplifiziert und von Zählern<sup>++)</sup> mit hohem Auflösungsvermögen erfaßt. Die Meßdatenausgabe erfolgte mit Hilfe eines angeschlossenen Papierstreifendruckers.

---

<sup>+)</sup>  Hersteller: Buchler und Co., Braunschweig

<sup>++)</sup> Packard Instrument Co., model 3380 oder  
Baird-Atomic; AEC-NIM models 1100, 3000 und 6980  
in 10101

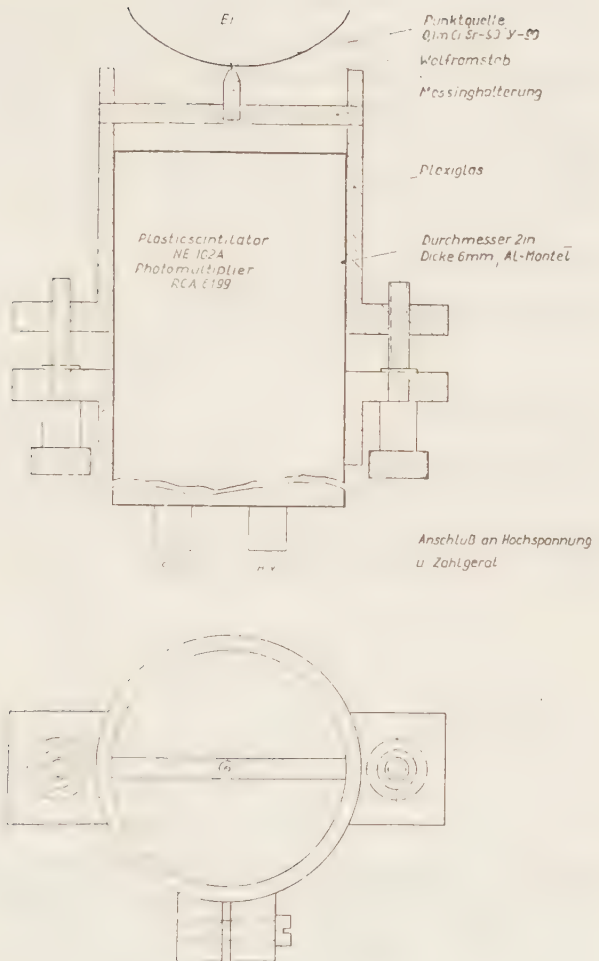


Abb. 1: BETA-RÜCKSTREU-MESSANORDNUNG

## 2. Nichtbiologisches Rückstreumaterial

Zur Ermittlung der optimalen Einstellung des Meßgeräts sowie um die Beeinflussung der Beta-Rückstreuung durch die geometrische Form des Meßguts zu untersuchen, wurden als Rückstreumaterialien Aluminiumplatten verschiedener Dicke sowie massive Halbkugeln bzw. Eier aus PVC unterschiedlicher Abmessungen hergestellt, die aus Tabelle 3 zu entnehmen sind.

## 3. Bruchfestigkeitsmeßgerät

Die Eischalenbruchfestigkeit wurde unter Verwendung des von RAUCH (1958) entwickelten Geräte-Typs bestimmt.

## 4. Abschirmung

Aus strahlenschutztechnischen Gründen befand sich zwischen Beta-Quelle und Arbeitsplatz eine bewegliche Plexiglaswand von 12 mm Dicke. Für das Bedienungspersonal war außerdem das Tragen einer Schutzbrille vorgeschrieben.

# B. Zur Meßtechnik

## 1. Impulsvorwahl

Um alle Messungen unter denselben zählstatistischen Bedingungen durchzuführen, wurden stets 50 000 Impulse gezählt und die dafür benötigte Meßzeit in Bruchteilen von Minuten bzw. Sekunden registriert. Bei vorgewählter Impulszahl (N) beträgt der auf die Zerfallsstatistik zurückzuführende Fehler der Meßzeit (t)

$$\pm \Delta t = \frac{K t}{\sqrt{N}}, \text{ wobei für } K = 2 \text{ bzw. } K = 3$$

95 bzw. 99,7 % der Meßergebnisse in dem angegebenen Intervall liegen. Aus dieser Beziehung läßt sich ableiten, daß für  $N = 50\,000$  und  $K = 3$  von den jeweils ermittelten Meßzeiten 99,7 % zwischen 0,9861 t und 1,0139 t liegen müssen.

Tabelle 3

Maße des für Vergleichsmessungen verwendeten Materials

I. Aluminiumplatten

| Nr. | Länge x<br>Breite | Dicke  | Gewicht | mg/cm <sup>2</sup> |
|-----|-------------------|--------|---------|--------------------|
| a   | 6 x 6 cm          | 0,1 mm | 0,962 g | 26,72              |
| b   | 6 x 6 cm          | 0,2 mm | 1,958 g | 54,38              |
| c   | 6 x 6 cm          | 0,3 mm | 2,943 g | 81,75              |
| d   | 6 x 6 cm          | 0,4 mm | 3,988 g | 110,77             |
| e   | 6 x 6 cm          | 1,0 mm | 9,565 g | 265,69             |

II. Massive Halbkugeln aus PVC

| Nr. | Durchmesser |
|-----|-------------|
| 1   | 10 mm       |
| 2   | 15 mm       |
| 3   | 20 mm       |
| 4   | 25 mm       |
| 5   | 30 mm       |
| 6   | 35 mm       |
| 7   | 40 mm       |
| 8   | 45 mm       |
| 9   | 50 mm       |

III. Massive Eier aus PVC

| Nr. | Durchmesser<br>von Pol<br>zu Pol | Durchmesser quer |                                                   |                               |
|-----|----------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|
|     |                                  | am Äquator       | zwischen Äquator und<br>spitzem Pol <sup>1)</sup> | stumpfen<br>Pol <sup>1)</sup> |
| 1   | 60,8 mm                          | 38,2 mm          | 31,5 mm                                           | 34,8 mm                       |
| 2   | 59,6 mm                          | 44,0 mm          | 35,5 mm                                           | 40,8 mm                       |
| 3   | 59,8 mm                          | 44,7 mm          | 39,5 mm                                           | 42,7 mm                       |
| 4   | 75,8 mm                          | 40,0 mm          | 34,0 mm                                           | 36,6 mm                       |
| 5   | 74,0 mm                          | 51,0 mm          | 43,0 mm                                           | 47,0 mm                       |

1) gemessen am 1. Drittel des Längs-Durchmessers  
vom jeweiligen Pol ausgehend

## 2. Zur Optimierung der Meßanordnung

Für die Bestimmung des günstigsten Verhältnisses zwischen Meßzeit und Ansprechbarkeit der Beta-Rückstreuung gegenüber Veränderungen der Massenbelegung wurden am Zählgerät folgende Faktoren variiert: Hochspannung bzw. Verstärkung und Eingangsschwelle.

Hinsichtlich der Meßgeometrie ist der Abstand zwischen Quelle und Detektor im Bereich zwischen 2 und 4 cm in Schritten von 0,5 cm verändert worden.

## 3. Bezugssystem

Sämtliche Beta-Rückstreuungsmessungen wurden aus Vergleichsgründen sowie zur Korrektur von Hochspannungsschwankungen auf einen Standard bezogen (Plastikei No. 2), der vor Beginn einer Meßreihe sowie nach jeweils etwa 100 Einzelmessungen überprüft worden ist.

### C. Versuchsanstellung zur Ermittlung der Beta-Rückstreuung an Hühnereiern

Nach Optimierung der Meßanordnung wurde in verschiedenen Experimenten die Beta-Rückstreuung bei Hühnereiern bestimmt, indem diese vom Versuchsansteller zwischen Daumen und Mittelfinger festgehalten und an den nachstehend bezeichneten Punkten senkrecht auf die Strahlenquelle aufgelegt worden sind. Anschließend wurde durch Betätigung der Start-Taste mit der freien Hand der Meßvorgang ausgelöst, der nach Erreichen der vorgewählten Impulszahl und automatischem Meßzeit-Abdruck wiederholt werden konnte.

### Versuch 1:

Bei 1042 Hühnereiern<sup>+)</sup>  wurde auf die oben beschriebene Weise die Beta-Rückstreuung bestimmt, und zwar an zwei gegenüberliegenden Punkten im Äquatorbereich sowie an den beiden Polen. Aus diesem Probenmaterial wurde ein Block von 171 Eiern an den Äquatorial-Meßstellen gekennzeichnet und die Beta-Rückstreuung dort und an den Polen nach Ablauf von 24 Stunden wiederholt gemessen. Im Anschluß daran ist bei allen 1042 Eiern deren Schalenbruchfestigkeit ermittelt worden.

### Versuch 2:

Aus einem Posten von 3000 Eiern<sup>+)</sup> , bei denen die Beta-Rückstreuung an vier Punkten (wie in Versuch 1) gemessen worden ist, wurden 300 Eier mit durchschnittlichen, hohen und niedrigen Beta-Rückstreuwerten so aussortiert, daß jeweils annähernd gleiche Klassenfrequenz vorlag. Nach erneuter Beta-Rückstreuung wurden die Schalen dieser Eier hinsichtlich ihrer Bruchfestigkeit geprüft.

### Versuch 3:

Von 339 Hennen wurden je 2 Eier<sup>+)</sup>  zu zweimaligen Messungen der Beta-Rückstreuung an 4 Punkten (wie in Versuch 1) sowie zur Ermittlung der Eischalenbruchfestigkeit verwendet.

### Versuch 4:

Um den Einfluß des Eiinhalts und der -membrane auf die am Vollei gemessene Beta-Rückstreuung zu bestimmen, wurde wie folgt vorgegangen:

#### Versuch 4.1.:

Zwei Serien von 71 bzw. 30 Eiern sind an 4 Punkten im Äquatorialbereich markiert worden. Die Beta-Rückstreuungen erfolgten an den gekennzeichneten Stellen jeweils am Vollei sowie nach

---

<sup>+)</sup>  Herkunft: Fa. Lohmann & Co.KG., Cuxhaven

Ausblasen des Eiinhalts an den ausgewaschenen und bei Zimmertemperatur getrockneten Eischalen, die, abgesehen von nadelfeinen Einstichstellen an den Polen, durch die der Eiinhalt entfernt worden ist, unversehrt waren.

#### Versuch 4.2.:

Auf gleiche Weise wurde nach Ermittlung der Beta-Rückstreuung an 4 Äquatorialpunkten des Volleies bei 32 Eiern der Inhalt entfernt; anschließend sind die entleerten Eier für 3 Minuten in kochend heiße 2,5 % NaOH getaucht worden, was zur völligen Auflösung der an der Eischaleninnenseite befindlichen Membrane führte. Die Beta-Rückstreuungsmessungen wurden an den markierten Äquatorialpunkten wiederholt, nachdem die so vorbehandelten Eischalen für 24 Stunden an der Luft trockneten.

#### Versuch 5:

Zur Klärung der Frage, ob der Frischezustand der Eier einen Einfluß auf deren Beta-Rückstreuwerte ausübt, wurden 90 Frischeier einen Monat lang bei Raumtemperatur gelagert. Innerhalb dieses Zeitraums ist die Beta-Rückstreuung wöchentlich einmal an zwei markierten Äquatorialpunkten sowie an den beiden Polen gemessen worden.

## V. ERGEBNISSE

Die Auswertung der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Untersuchungen führte zu den nachstehend einzeln aufgeführten Ergebnissen.

### A. Zur Optimierung der Meßanordnung

Der Beta-Rückstreuwert, gemessen in Zeiteinheiten pro Anzahl vorgewählter Impulse, ist eine von zahlreichen Faktoren der Geräteeinstellung abhängige Größe. Dies wird durch Tabelle 4 veranschaulicht: An zwei Aluminiumplatten a und b mit einem Flächengewicht von 26,7 bzw. 54,4 mg/cm<sup>2</sup> - entsprechend einer Dicke von 0,1 bzw. 0,2 mm - wurde die Beta-Rückstreuung unter verschiedenen Bedingungen bestimmt; die Meßzeit in Min x 10<sup>-3</sup> für 50 000 Rückstreuimpulse ist umso kürzer, je größer die Verstärkung bzw. Fensterweite und je geringer die Entfernung zwischen Beta-Quelle und Detektor.

Die jeweiligen Meßzeitdifferenzen der Aluminiumplatten a und b sind als Relativwerte in den Querrubriken c<sub>2</sub> bis c<sub>4</sub> der Tabelle 4 aufgeführt; wie daraus hervorgeht, bestehen zwischen den einzelnen Meßbedingungen deutliche, wenngleich geringe Unterschiede, die die Ansprechbarkeit (Sensitivität) der Meßanordnung auf Veränderungen der Massenbelegung (Flächengewicht) des Rückstreumaterials charakterisieren.

Zur Ermittlung der optimalen Geräteeinstellung sind die Quotienten zwischen Sensitivität der Meßanordnung (c-Werte) und der absoluten Meßzeit (a-Werte) berechnet und in die Rubriken d<sub>2</sub> bis d<sub>4</sub> der Tabelle 4 aufgenommen worden. Demnach gehen kurze bis sehr kurze Meßzeiten auf Kosten der Sensitivität.

Vergleichbare Resultate ergaben sich anhand von Beta-Rückstreuungsmessungen an 2 Eiern unterschiedlicher Schalendicke (siehe Tabelle 5). Setzt man die zwischen Ei 1 und 2 ermittelten

Tabelle 4

Einfluß der Meßgeometrie und der Geräteeinstellung auf die <sup>+</sup>Beta-Rückstreuung  
bei Aluminiumplatten verschiedener Dicke  
(Meßzeit in Min x 10<sup>-3</sup> für 50 000 Rückstreimpulse)

| Abstand Quelle - Detektor:<br>Aluminiumplatte:         | Fenster 50 - 500 Teilstriche |        |        |        |        | Fenster 25 - 500 Teilstriche |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                                        | Verstärkung                  |        |        |        |        | Verstärkung                  |        |        |        |        |
|                                                        | 30 %                         | 40 %   | 50 %   | 60 %   | 70 %   | 30 %                         | 40 %   | 50 %   | 60 %   | 70 %   |
| 2 cm: $a_2 = 26,72 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mm}$ | 342                          | 178    | 125    | 102    | 89     | 114                          | 86     | 74     | 67     | 89     |
| $b_2 = 54,38 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,2 \text{ mm}$       | 222                          | 108    | 74     | 59     | 51     | 66                           | 50     | 43     | 39     | 51     |
| $c_2 = \frac{a_2 - b_2}{a_2} \times 100$               | 35                           | 39     | 41     | 42     | 43     | 42                           | 42     | 42     | 42     | 43     |
| $d_2 = c_2 : a_2$                                      | 0,1023                       | 0,2191 | 0,3280 | 0,4117 | 0,4831 | 0,3684                       | 0,4883 | 0,5675 | 0,6268 | 0,4831 |
| 3 cm: $a_3 = 26,72 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mm}$ | 1185                         | 583    | 347    | 320    | 273    | 361                          | 264    | 225    | 200    | 185    |
| $b_3 = 54,38 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,2 \text{ mm}$       | 724                          | 327    | 180    | 167    | 141    | 192                          | 137    | 115    | 102    | 95     |
| $c_3 = \frac{a_3 - b_3}{a_3} \times 100$               | 39                           | 44     | 48     | 48     | 48     | 47                           | 48     | 49     | 49     | 49     |
| $d_3 = c_3 : a_3$                                      | 0,0329                       | 0,0754 | 0,1383 | 0,1500 | 0,1758 | 0,1301                       | 0,1818 | 0,2177 | 0,2450 | 0,2648 |
| 4 cm: $a_4 = 26,72 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mm}$ | 3108                         | 1473   | 1000   | 778    | 655    | 889                          | 645    | 534    | 476    | 433    |
| $b_4 = 54,38 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,2 \text{ mm}$       | 1792                         | 787    | 504    | 384    | 316    | 444                          | 310    | 252    | 224    | 209    |
| $c_4 = \frac{a_4 - b_4}{a_4} \times 100$               | 42                           | 47     | 50     | 51     | 52     | 50                           | 52     | 53     | 53     | 52     |
| $d_4 = c_4 : a_4$                                      | 0,0135                       | 0,0319 | 0,0500 | 0,0655 | 0,0793 | 0,0562                       | 0,0806 | 0,0992 | 0,1113 | 0,1200 |

<sup>90</sup> Quelle: Sr-Y 0,1 mCi Zählgerät: Packard 3380 Zählgerät Einstellung: HV 5/450

Tabelle 5

Einfluß der Meßgeometrie und der Abschirmstellung auf die Beta-Rückstreuung  
bei zwei Hühnereiern (mit Inhalt)  
(Meßzeit in Min  $\times 10^{-3}$  für 50 000 Rückstreimpulse)

| Abstand<br>Quelle - Detektor | Pf<br>Nr. | Fenster 30 - 500 Tellstriche |       |       |       |       | Fenster 25 - 500 Tellstriche |       |       |       |       |
|------------------------------|-----------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                              |           | Verstärkung                  |       |       |       |       | Verstärkung                  |       |       |       |       |
|                              |           | 30 %                         | 40 %  | 50 %  | 60 %  | 70 %  | 30 %                         | 40 %  | 50 %  | 60 %  | 70 %  |
| 2 cm                         | 1         | 0,216                        | 0,101 | 0,063 | 0,034 | 0,046 | 0,061                        | 0,043 | 0,038 | 0,034 | 0,033 |
|                              | 2         | 0,213                        | 0,098 | 0,066 | 0,052 | 0,044 | 0,059                        | 0,044 | 0,037 | 0,034 | 0,031 |
| 3 cm                         | 1         | 0,669                        | 0,281 | 0,177 | 0,135 | 0,112 | 0,157                        | 0,108 | 0,089 | 0,083 | 0,074 |
|                              | 2         | 0,602                        | 0,253 | 0,159 | 0,121 | 0,100 | 0,141                        | 0,097 | 0,081 | 0,072 | 0,066 |
| 4 cm                         | 1         | 1,605                        | 0,639 | 0,383 | 0,288 | 0,234 | 0,337                        | 0,229 | 0,184 | 0,162 | 0,147 |
|                              | 2         | 1,485                        | 0,667 | 0,359 | 0,262 | 0,213 | 0,308                        | 0,207 | 0,169 | 0,149 | 0,136 |

Queller:  $^{90}\text{Sr-Y}$  0,1 mCi

Zählgerät: Packard 3380

Zählgerät-Einstellung: HV 5/450

absoluten Meßzeitdifferenzen mit dem Durchschnitt der dazugehörigen zählstatistischen Abweichung ins Verhältnis, so läßt sich zeigen, daß die auf diese Weise errechneten Werte für den Abstand von 3 cm zwischen Beta-Quelle und Detektor am günstigsten liegen.

In Tabelle 6 sind die Meßzeiten absolut und relativiert für 50 000 durch Aluminiumplatten rückgestreute Impulse über den Flächengewichtsbereich von 26,7 bis 265,7 mg/cm<sup>2</sup> bei unterschiedlichen Entfernungen zwischen Beta-Strahler und Detektor, sonst jedoch konstant gehaltenen Bedingungen wiedergegeben. Hieraus ist folgende Beziehung abzuleiten: Unterhalb des Sättigungsbereichs verringert sich die Meßzeit pro Anzahl Rückstreimpulse mit zunehmendem Flächengewicht, wobei die Sensitivität der Meßanordnung gegenüber Änderungen des Flächengewichts nicht bei allen Abständen zwischen Beta-Quelle und Detektor gleich groß ist.

#### B. Zum Einfluß der Geometrie des Meßguts auf die Beta-Rückstreuung

Die Abhängigkeit der Beta-Rückstreuung im Sättigungsbereich von der Krümmung des Rückstreumaterials geht aus Tabelle 7 hervor. Massive PVC-Eier mit unterschiedlichem Formindex (siehe Tabelle 3) weisen an den Polen pro Anzahl Rückstreimpulse stets längere Meßzeiten (in Min.) auf als im Äquatorialbereich; die relativierte, auf die durchschnittlichen Äquatorialmeßwerte bezogenen Abweichungen sind dabei am spitzen Pol am größten. Weiterhin zeigt sich, daß der Einfluß des Formindex auf die Beta-Rückstreuung je nach Abstand zwischen Beta-Quelle und Detektor variiert. Dies war anhand von Beta-Rückstreumessungen an massiven PVC-Halb-kugeln verschiedener Durchmesser zu bestätigen (Tabelle 8): Die Empfindlichkeit gegenüber Krümmungsunterschieden war bei geringer Entfernung (2 cm) zwischen Quelle und Detektor am kleinsten.

Tabelle 6

Meßzeit für 50 000 Beta-Rückstreimpulse bei Aluminiumplatten verschiedener Dicke

| Nr. | Flächengewicht<br>Aluminium-<br>platten<br>(mg/cm <sup>2</sup> ) | Dicke<br>Aluminium-<br>platten<br>(mm) | Meßzeit für 50 000 Beta-Rückstreimpulse |                                    |                                    |                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
|     |                                                                  |                                        | Abstand<br>Quelle-Detektor<br>2 cm      | Abstand<br>Quelle-Detektor<br>3 cm | Abstand<br>Quelle-Detektor<br>4 cm | Relativ<br>(Min x 10 <sup>-3</sup> ) |
|     |                                                                  |                                        | (Min x 10 <sup>-3</sup> )               | (Min x 10 <sup>-3</sup> )          | (Min x 10 <sup>-3</sup> )          |                                      |
| a   | 26,72                                                            | 0,1                                    | 114                                     | 100                                | 347                                | 100                                  |
| b   | 54,38                                                            | 0,2                                    | 65                                      | 56                                 | 180                                | 52                                   |
| c   | 81,75                                                            | 0,3                                    | 50                                      | 43                                 | 123                                | 35                                   |
| d   | 110,77                                                           | 0,4                                    | 44                                      | 39                                 | 103                                | 30                                   |
| e   | 265,69                                                           | 1,0                                    | 39                                      | 34                                 | 86                                 | 25                                   |
|     |                                                                  |                                        |                                         |                                    |                                    | 175                                  |
|     |                                                                  |                                        |                                         |                                    |                                    | 20                                   |

Quelle: 0,1 mCi <sup>90</sup>Sr-y

Zählgerät: Packard 3380

Zählgerät Einstellung: HV 5/450

Verstärkung: 50 %

Fenster A - B

50 - 500

Tabelle 7

Abhängigkeit der Herz-Peak-Verzögerung im Sekundärspektren-Peak der Kristallinung von Herz-Peak-Verzögerung,  
gemessen an massiven PVC-Liern mit unterschiedlichem Formindex

| PVC-<br>Li-<br>Nr. | Abstand Quelle - Detektor: 2 cm |                      |                             | Abstand Quelle - Detektor: 3 cm |                      |                 | Abstand Quelle - Detektor: 4 cm |                      |                 |
|--------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|-----------------|
|                    | Äquator <sub>1</sub>            | Äquator <sub>2</sub> | stumpfer<br>Pol             | Äquator <sub>1</sub>            | Äquator <sub>2</sub> | stumpfer<br>Pol | Äquator <sub>1</sub>            | Äquator <sub>2</sub> | stumpfer<br>Pol |
| 1<br>$\bar{x}$     | 0,033<br>0,033 <sup>+</sup>     |                      | 0,036 <sup>+</sup><br>+ 0,1 | 0,076<br>0,076                  | 0,076                | 0,086<br>+ 17,2 | 0,107<br>0,107                  | 0,126<br>+ 17,3      | 0,136<br>+ 36,4 |
| 2<br>$\bar{x}$     | 0,034<br>0,034                  |                      | 0,036<br>+ 0,1              | 0,073<br>0,073                  | 0,073                | 0,081<br>+ 7,3  | 0,111<br>0,111                  | 0,116<br>+ 3,0       | 0,139<br>+ 21,7 |
| 3<br>$\bar{x}$     | 0,032<br>0,0325                 |                      | 0,033<br>+ 1,5              | 0,074<br>0,0745                 | 0,073                | 0,075<br>+ 7,0  | 0,106<br>0,105                  | 0,103<br>+ 2,3       | 0,119<br>+ 12,2 |
| 4<br>$\bar{x}$     | 0,033<br>0,0225                 |                      | 0,035<br>+ 7,7              | 0,073<br>0,073                  | 0,073                | 0,081<br>+ 11,0 | 0,106<br>0,106                  | 0,119<br>+ 12,3      | 0,153<br>+ 44,3 |
| 5<br>$\bar{x}$     | 0,033<br>0,033                  |                      | 0,033<br>+ 0                | 0,073<br>0,073                  | 0,073                | 0,074<br>+ 1,4  | 0,106<br>0,1055                 | 0,107<br>+ 1,4       | 0,119<br>+ 12,8 |

Quelle: <sup>90</sup>Sr-Y 0,1 mCi

Zählgerät: Packard 3380

Zählgerät Einstellung: HV 5/450

Verstärkung: 50 %

Fenster A - B

50 - 500

vorgewählte Rückstreimpulse: 50 000

Die eingezeichneten Werte sind relative Abweichungen bezogen auf den

Durchschnitt ( $\bar{x}$ ) von 2 Werten im Äquatorialbereich.+ Beispiel:  $\frac{0,036}{0,033} \times 100 = 100 + 9,09$

Tabelle 8

Abhängigkeit der Beta-Rückstreuung im Sättigungsbereich von der Krümmung des Rückstreumaterials, gemessen an massiven PVC-Halbkugeln mit verschiedenen Durchmessern

| PVC-Halbkugel |             | Wartezeit für 5000 Beta-Rückstreuzählpulse ( $\text{Min} \times 10^{-3}$ ) |                     |                     |
|---------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Nr.           | Durchmesser | Fenster 50 - 500 Teilstriche; Verstärkung 50 %                             |                     |                     |
|               |             | Abstand Quelle - Detektor                                                  |                     |                     |
|               |             | 2 cm                                                                       | 3 cm                | 4 cm                |
| 1             | 10 mm       | 0,088                                                                      | 0,252               | 0,404               |
| 2             | 15 mm       | 0,082                                                                      | 0,220               | 0,423               |
| 3             | 20 mm       | 0,074                                                                      | 0,195               | 0,424               |
| 4             | 25 mm       | 0,071 <sup>a)</sup>                                                        | 0,182               | 0,406               |
| 5             | 30 mm       | 0,070 <sup>a)</sup>                                                        | 0,173               | 0,386               |
| 6             | 35 mm       | 0,066 <sup>a)</sup>                                                        | 0,163               | 0,366 <sup>b)</sup> |
| 7             | 40 mm       | 0,062 <sup>a)</sup>                                                        | 0,162               | 0,357 <sup>b)</sup> |
| 8             | 45 mm       | 0,061 <sup>a)</sup>                                                        | 0,152 <sup>b)</sup> | 0,346               |
| 9             | 50 mm       | 0,064 <sup>a)</sup>                                                        | 0,145 <sup>b)</sup> | 0,336               |

a), b), c) Meßwerte mit den gleichen Indices liegen innerhalb der 3fachen Standardabweichung 99,7 % im Vertrauensbereich: 0,9261 T - 1,0139 T

Quelle: <sup>90</sup>Sr-Y

Zählgerät: Packard 3380

Zählgerät Einstellung: HV 5/450

Im Hinblick auf ein optimales Verhältnis zwischen Sensitivität und Meßzeit wurde auf Grund der in den Tabellen 4 bis 8 zusammengefaßten Daten für alle künftigen Messungen bei Verwendung des Packard-Instruments folgende Geräteeinstellung gewählt: 50 % Verstärkung; Fenster 50 - 500 Teilstriche bei einem Abstand zwischen Beta-Quelle und Detektor von 3 cm.

### C. Zur Beta-Rückstreuung an Hühnereiern

#### Versuch 1:

Die errechneten Korrelationen zwischen den Beta-Rückstreuungen (Zeit in Min/50 000 Impulse), die an willkürlich ausgewählten, gegenüberliegenden Äquatorialstellen sowie an den beiden Polen bei 1042 Hühnereiern vorgenommen wurden, sind in Tabelle 9 zusammengefaßt. Demnach existieren zwischen den an verschiedenen Meßpunkten ermittelten Beta-Rückstreuwerten unterschiedlich enge, aber in jedem Falle innerhalb der 99 % Vertrauensgrenze liegende Beziehungen.

Mittelwerte samt Standardabweichung und Variationskoeffizient für die an verschiedenen Meßpunkten bestimmten Beta-Rückstreuwerte sowie für das Merkmal Eischalenbruchfestigkeit sind von 171 Eiern dieser Serie in Tabelle 10 gegenübergestellt. Der Variationskoeffizient der Beta-Rückstreuwerte schwankt demnach je nach Meßstelle zwischen 3,59 und 7,73 % und ist somit um das 3-7fache geringer als derjenige der Eischalenbruchfestigkeit.

Unter Zugrundelegung desselben Probenmaterials bestehend aus 171 Eiern sind die Korrelationen zwischen Beta-Rückstreuwerten (Meßzeit in Min/50 000 Impulse) und Ei - bzw. - Schalengewicht bzw. - Flächengewicht berechnet worden (Tabelle 11). Während zwischen Eigewicht und durchschnittlicher Beta-Rückstreuung am Ei keine gesicherten Beziehungen nachweisbar waren, sind

Tabelle 9

Korrelationen (r) zwischen Beta-Rückstreu-Meßwerten  
an verschiedenen Meßstellen von 1042 Hühnereiern

| Meßstellen           |                        | r    |
|----------------------|------------------------|------|
| Äquator <sub>1</sub> | : Äquator <sub>2</sub> | 0,86 |
|                      | : stumpfer Pol         | 0,51 |
|                      | : spitzer Pol          | 0,45 |
| Äquator <sub>2</sub> | : stumpfer Pol         | 0,51 |
|                      | : spitzer Pol          | 0,45 |
| Stumpfer Pol         | : spitzer Pol          | 0,45 |

Tabelle 10

Mittelwert ( $\bar{x}$ ), Standardabweichung (s) und  
Variationskoeffizient (v) der Beta-Rückstreu-Meßwerte  
(Min/50.000 Rückstreuimpulse) sowie der Bruchfestigkeit (kg)  
von Hühnereiern (n = 171)

|                      | $\bar{x}$ | s     | $v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$ |
|----------------------|-----------|-------|-----------------------------------|
| Äquator <sub>1</sub> | 0,139     | 0,005 | 3,59 %                            |
| Äquator <sub>2</sub> | 0,139     | 0,005 | 3,59 %                            |
| Stumpfer Pol         | 0,168     | 0,013 | 7,73 %                            |
| Spitzer Pol          | 0,160     | 0,008 | 5,00 %                            |
| Bruchfestigkeit      | 3,58      | 0,86  | 24,02 %                           |

Tabelle 11

Korrelationen zwischen Beta-Rückstreu-Meßwerten an verschiedenen Meßstellen und Eigewicht, Schalengewicht, Schalenanteil und Schalengewicht je Flächeneinheit (n = 171 Hühnerreier)

| Meßstelle            | Eigewicht  | Schalengewicht | Schalenanteil | Eischalen-<br>Flächengewicht |
|----------------------|------------|----------------|---------------|------------------------------|
| Äquator <sub>1</sub> | 1. Messung | - 0,18         | - 0,74        | - 0,83                       |
| Äquator <sub>2</sub> | 1. Messung | - 0,19         | - 0,74        | - 0,83                       |
| stumpfer Pol         | 1. Messung | - 0,01         | - 0,70        | - 0,73                       |
| spitzer Pol          | 1. Messung | + 0,02         | - 0,56        | - 0,57                       |
| Äquator <sub>1</sub> | 2. Messung | - 0,27         | - 0,75        | - 0,86                       |
| Äquator <sub>2</sub> | 2. Messung | - 0,20         | - 0,75        | - 0,84                       |
| stumpfer Pol         | 2. Messung | - 0,05         | - 0,67        | - 0,71                       |
| spitzer Pol          | 2. Messung | - 0,03         | - 0,54        | - 0,57                       |

Schalengewicht bzw. Eischalen-Flächengewicht und Beta-Rückstreuwerte je nach Meßpunkt signifikant korreliert, wobei sich die engsten Beziehungen zwischen Beta-Rückstreuwerten im Äquatorialbereich und Flächengewicht ergaben ( $r = -0,83$  bis  $-0,86$ ).

Im Gegensatz dazu liegen die in Tabelle 12 zusammengestellten Korrelationskoeffizienten zwischen Beta-Rückstreuwert und Eischalenbruchfestigkeit für die 1042 Eier der Serie 1 deutlich tiefer, nämlich im Bereich von  $r = -0,38$  bis  $r = -0,41$ .

## Versuch 2:

Um festzustellen, welche Bruchfestigkeitsdifferenzen mit Hilfe der Beta-Rückstreutechnik erkannt werden können, wurden aus einem Material von 3000 Eiern, deren Beta-Rückstreuwerte an 4 Meßpunkten ermittelt worden sind, etwa 10 % so ausgewählt, daß hier mit hohen, mittleren und geringen Beta-Rückstreuwerten in nahezu gleicher Klassenfrequenz vorlagen. Nach Ermittlung der Eischalenbruchfestigkeit wurde das Probenmaterial auf Grund dieses Merkmals in 8 Klassen gruppiert (siehe Tabelle 13) und die dazugehörigen Beta-Rückstreuwerte varianzanalytisch bearbeitet. Hieraus ergab sich, daß die Varianz der korrigierten Beta-Rückstreuwerte an sämtlichen Meßpunkten zwischen den Bruchfestigkeitsklassen signifikant größer war als innerhalb der Bruchfestigkeitsklassen. Welche Bruchfestigkeitsdifferenz auf Grund der Beta-Rückstreuwerte statistisch gesichert zu unterscheiden sind, wurde mit Hilfe des SCHEFFE'schen Tests analysiert (WEBER, 1967).

Wie aus der in Tabelle 13 gegebenen Übersicht hervorgeht, ist die Grenzdifferenz nicht über den gesamten Bruchfestigkeitsbereich gleich groß. In den unteren Bruchfestigkeitsklassen ist auf Grund der Beta-Rückstreuwerte am stumpfen Pol eine

Tabelle 12

Korrelationen zwischen Beta-Rückstreu-Meßwerten an verschiedenen Meßstellen und Bruchfestigkeit  
bei 3 Serien von Hühnereiern<sup>1)</sup>

| Meßstelle                                   | Serie 1<br>(n = 1042 Eier) | Serie 2<br>(n = 339 Eier) | Serie 3<br>(n = 339 Eier)                            |                       |
|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                             | Messung                    | 1. Messung                | Korrelation aus<br>2. Messung<br>zur Bruchfestigkeit | 1. Messung 2. Messung |
| Äquator <sub>1</sub>                        | - 0,38                     | - 0,35                    | - 0,38                                               | - 0,39 - 0,42         |
| Äquator <sub>2</sub>                        | - 0,40                     | - 0,39                    | - 0,37                                               | - 0,39 - 0,46         |
| Äquator <sub>1</sub> + Äquator <sub>2</sub> | --                         | - 0,41                    | - 0,41                                               | - 0,42 - 0,48         |
| stumpfer Pol                                | - 0,38                     | - 0,37                    | - 0,40                                               | - 0,36 - 0,33         |
| spitzer Pol                                 | - 0,41                     | - 0,35                    | - 0,36                                               | - 0,37 - 0,34         |

1) Bei den Serien 2 und 3 handelt es sich um Eier der gleichen Tiere.

Tabelle 13

Signifikanzprüfung (SCHEFFE's Test) der mittleren Beta-Rückstreu-Differenzen zwischen Eiern,  
die auf Grund ihrer Bruchfestigkeit klassifiziert wurden

| Bruchfestigkeit<br>(kg) | $x_8$<br>>4,50 bis 5,00<br>Äq. st P spP Ø | $x_7$<br>>4,00 bis 4,50<br>Äq. st P spP Ø | $x_6$<br>>3,50 bis 4,00<br>Äq. st P spP Ø | $x_5$<br>>3,00 bis 3,50<br>Äq. st P spP Ø | $x_4$<br>>2,50 bis 3,00<br>Äq. st P spP Ø | $x_3$<br>>2,00 bis 2,50<br>Äq. st P spP Ø | $x_2$<br>>1,50 bis 2,00<br>Äq. st P spP Ø |
|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $x_1$<br>bis 1,50       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       |
| $x_2$<br>>1,50 bis 2,00 | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,05 0,01 0,05                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       |
| $x_3$<br>>2,00 bis 2,50 | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       | 0,01 0,01 0,01 0,01                       |
| $x_4$<br>>2,50 bis 3,00 | 0,01 N.S. 0,01 N.S.                       | 0,01 N.S. 0,05 N.S.                       | 0,05 N.S. N.S. N.S.                       | 0,01 N.S. 0,05 N.S.                       | N.S. N.S. N.S. N.S.                       |                                           |                                           |
| $x_5$<br>>3,00 bis 3,50 | N.S. N.S. N.S. N.S.                       | N.S. N.S. N.S. N.S.                       | N.S. N.S. N.S. N.S.                       | N.S. N.S. N.S. N.S.                       |                                           |                                           |                                           |
| $x_6$<br>>3,50 bis 4,00 | N.S. N.S. N.S. N.S.                       | N.S. N.S. N.S. N.S.                       |                                           |                                           |                                           |                                           |                                           |
| $x_7$<br>>4,00 bis 4,50 | N.S. N.S. N.S. N.S.                       | N.S. N.S. N.S. N.S.                       |                                           |                                           |                                           |                                           |                                           |

Äq.: Äquator  
st. P.: stumpfer Pol  
sp. P.: spitzer Pol  
Ø: Durchschnittswerte

Unterscheidung zwischen Eiern bis 1,5 kg Bruchfestigkeit und solchen von  $> 2,0$  bis 2,5 kg Bruchfestigkeit möglich, während sich an dieser Meßstelle in den oberen Bruchfestigkeitsklassen Differenzen zwischen Klasse 4 ( $> 2,5$  bis 3,0 kg) und 8 ( $> 4,5$  bis 5,0 kg Bruchfestigkeit) nicht mehr sichern lassen. Für viele praktische Belange ist aber die Möglichkeit bereits ausreichend, wenn Eier der Bruchfestigkeitsklassen bis 2,5 kg und über 3,5 kg mit Hilfe der Beta-Rückstreuung auszusortieren sind.

### Versuch 3:

In diesem Experiment sind an je 2 Eiern von 339 Hennen Beta-Rückstreubestimmungen an 4 Meßpunkten wiederholt worden nach Abschluß der ersten Messung an allen Eiern einer Serie. Die in Tabelle 14 aufgenommenen Wiederholungskoeffizienten aus 2 Messungen am selben Ei ( $a_1$  und  $a_2$  bzw.  $b_1$  und  $b_2$ ) liegen dabei vor allem an den Äquatorialmeßpunkten deutlich tiefer im Vergleich zu den Wiederholbarkeitswerten, die an 171 Eiern der Serie 1 ermittelt worden sind. Dies ist auf die Verwendung eines anderen Zählgeräts zurückzuführen, dessen Verstärkung so eingestellt war, daß die Meßzeiten für 50 000 Rückstreupulse bei Volleiern unter 1 Sekunde lagen. Unter diesem Aspekt ist auch die Wiederholbarkeit der an je 2 Eiern derselben Hennen gemessenen Beta-Rückstreuung zu beurteilen. Für das Merkmal Eischalenbruchfestigkeit ergab sich zwischen je 2 Eiern derselben Hennen ein Wiederholbarkeitskoeffizient von 0,5.

Tabelle 14

Wiederholbarkeits-Koeffizienten (r) für die Beta-Rückstreuung, gemessen an verschiedenen Stellen  
bei 3 Serien von Hühnereiern<sup>1)</sup>

| Meßstelle                                   | Serie 1<br>r aus Messungen<br>$m_1$ und $m_2$<br>(n = 171 Eier) | Serie 2<br>r aus Messungen<br>$a_1$ und $a_2$<br>(n = 339 Eier) | Serie 3<br>r aus Messungen<br>$b_1$ und $b_2$<br>(n = 339 Eier) | r aus Messungen von je<br>2 verschiedenen Eiern<br>der gleichen Hennen<br>$a_1:b_1$ $a_2:b_2$ $a_2:b_1$ $a_1:b_2$ |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Äquator <sub>1</sub>                        | 0,84                                                            | 0,57                                                            | 0,63                                                            | 0,46 0,50 0,41 0,45                                                                                               |
| Äquator <sub>2</sub>                        | 0,87                                                            | 0,51                                                            | 0,60                                                            | 0,35 0,48 0,44 0,46                                                                                               |
| Äquator <sub>1</sub> + Äquator <sub>2</sub> | 0,86                                                            | 0,63                                                            | 0,70                                                            | 0,47 0,57 0,51 0,57                                                                                               |
| stumpfer Pol                                | 0,95                                                            | 0,83                                                            | 0,90                                                            | 0,48 0,47 0,52 0,53                                                                                               |
| spitzer Pol                                 | 0,93                                                            | 0,62                                                            | 0,60                                                            | 0,38 0,42 0,33 0,37                                                                                               |
| Bruchfestigkeit                             |                                                                 |                                                                 | 0,50                                                            |                                                                                                                   |

1) Bei den Messungen der Serien 2 und 3 handelt es sich um je 2 verschiedene Eier der gleichen Hennen.

#### Versuch 4:

Um den Einfluß des Eiinhalts bzw. der Eimembrane auf die am Vollei gemessene Beta-Rückstreuung zu ermitteln, wurden Beta-Rückstreuemessungen an 4 markierten Äquatorialpunkten desselben Probenmaterials nach Entfernung des Eiinhalts bzw. der Eimembrane wiederholt.

#### Versuch 4.1.:

Die einfaktorielle varianzanalytische Auswertung der Meßdaten von 71 Eiern mit und ohne Inhalt führte zu folgendem Ergebnis:

| <u>Volleier</u> (71 x 4 = 284 Meßwerte)                              |                                       |                     |         |                      |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------|----------------------|
| Mittelwert: 127,5 sec · 10 <sup>-2</sup> für 50 000 Rückstreuimpulse |                                       |                     |         |                      |
| Variations-<br>ursache                                               | Summe der<br>Abweichungs-<br>quadrate | Freiheits-<br>grade | Varianz | Varianz-<br>quotient |
| zwischen den<br>Eiern                                                | 4432,6                                | 70                  | 63,3    | 11,5                 |
| innerhalb der<br>Eier                                                | 1181,5                                | 213                 | 5,5     |                      |
| Gesamt                                                               | 5614,1                                | 283                 | 119,8   |                      |
| <u>Eier ohne Inhalt</u> (71 x 4 = 284 Meßwerte)                      |                                       |                     |         |                      |
| Mittelwert: 150,7 sec · 10 <sup>-2</sup> für 50 000 Rückstreuimpulse |                                       |                     |         |                      |
| zwischen den<br>Eiern                                                | 55459,8                               | 70                  | 792,3   | 44,2                 |
| innerhalb der<br>Eier                                                | 3803,8                                | 213                 | 17,9    |                      |
| Gesamt                                                               | 59263,6                               | 283                 | 209,4   |                      |

Hieraus geht hervor, daß das Verhältnis der Varianz zwischen/innerhalb der Eier bei Eiern ohne Inhalt um den Faktor 4 größer ist als bei Volleiern.

Dieses Ergebnis zeigt, daß die Beeinflussung der am Vollei gemessenen Beta-Rückstreuung durch den Eiinhalt keine konstante Größe darstellt. Für den praktisch interessierenden Bereich wurde daher versucht, den unterschiedlichen Einfluß des Eiinhalts auf die Beta-Rückstreuung bei verschiedenen Eiern anhand einer linearen Regressionsbeziehung zu charakterisieren. Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, besteht zwischen den Meßzeiten (in  $\text{Min} \times 10^{-3}$ ) für 50 000 Rückstreuimpulse an Eiern mit (x) und ohne (y) Inhalt folgende Beziehung:  $y = 3,445 x - 289,28$ . Daraus ist zu folgern, daß innerhalb eines begrenzten Bereichs eine an Volleiern gemessene Differenz der Beta-Rückstreuwerte angenähert um das 3,4fach größer ist, wenn die Messung an denselben Eiern ohne Inhalt vorgenommen wird.

#### Versuch 4 2 :

Berücksichtigt man darüberhinaus den durch die Eimembrane bedingten Einfluß auf die am Vollei gemessene Beta-Rückstreuung, ergibt sich in guter Annäherung für den beobachteten Bereich eine Beziehung mit noch größerer Steigung (siehe Abbildung 3). Demnach entspricht einer Zunahme der Beta-Rückstreuemeßzeit um eine Einheit an Volleiern ein 6,4facher Anstieg bei Eiern ohne Inhalt und Membrane.

An dieser Stelle sei hervorgehoben, daß die angegebenen linearen Regressionsgleichungen nur eine Näherungslösung darstellen, da auf Grund der physikalischen Gesetze, nach denen die Beta-Rückstreuung abläuft, der Einfluß des Eiinhalts und der -membrane auf die am Vollei gemessene Beta-Rückstreuung in Wirklichkeit exponentiellen Funktionen folgt. Die Ergebnisse dieses Versuchs zeigen jedoch eindeutig, daß die Differenz zwischen Beta-Rückstreuwerten am Vollei und an Eiern ohne Inhalt und/oder Membrane bei dünnchaligen Eiern (längere Beta-Rückstreu-Meßzeiten) größer ist als bei dickschaligen (kurze Beta-Rückstreu-Meßzeiten) und im Bereich der Sättigungsdicke für Eischalen null wird ( $x = y$ ).

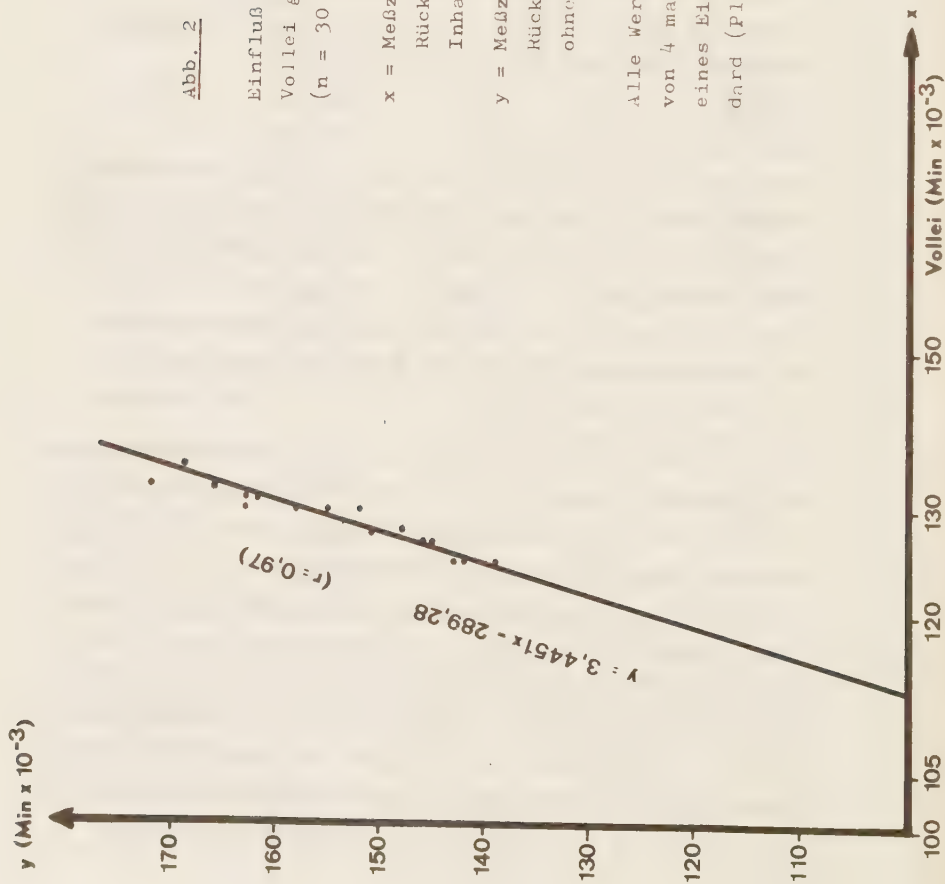


Abb. 2

Einfluß des Einhaltes auf die am  
Vollei gemessene Betärückstreuung  
( $n = 30$  Eier)

$x = \text{Meßzeit (Min} \times 10^{-3})$  für 50000  
Rückstreuimpulse bei Eiern mit  
Inhalt

$y = \text{Meßzeit (Min} \times 10^{-3})$  für 50000  
Rückstreuimpulse bei Eiern  
ohne Inhalt

Alle Werte sind Durchschnittswerte  
von 4 markierten Punkten am Äquator  
eines Eies bezogen auf einen Stan-  
dard (Plastikei)

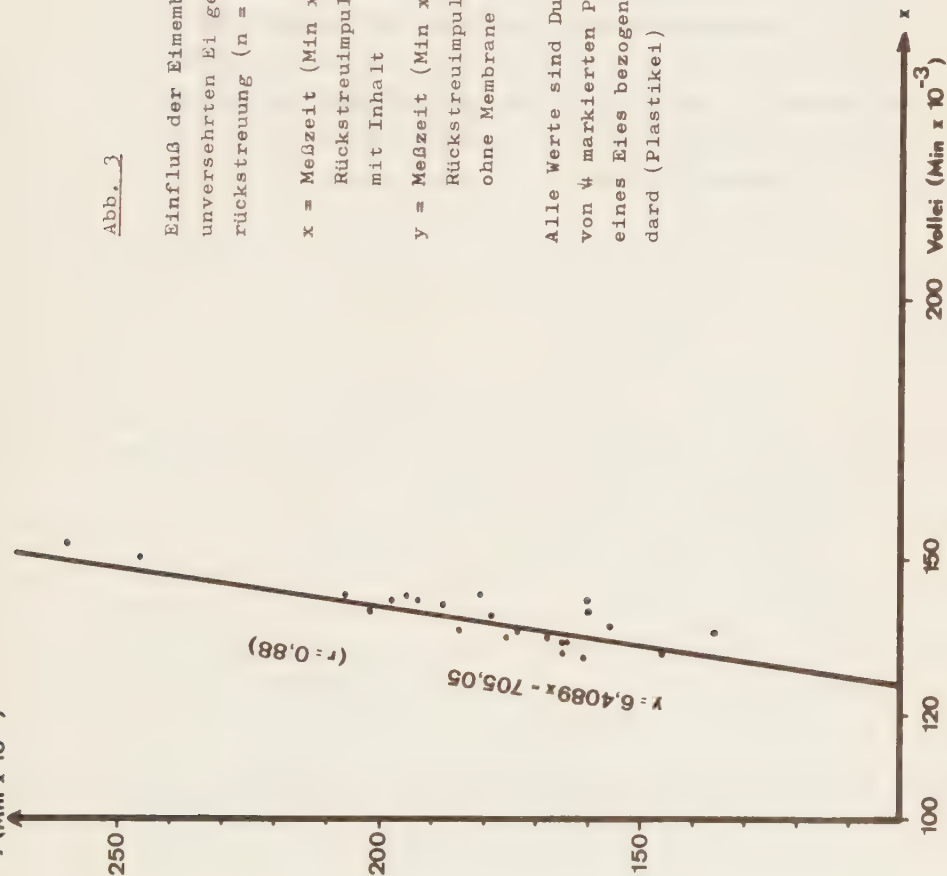
Abb. 3

Einfluß der Eimembrane auf die am unversehrten Ei gemessene Beta-  
rückstreuung ( $n = 32$  Eier)

$x =$  Meßzeit ( $\text{Min} \times 10^{-3}$ ) für 50000  
Rückstreuungspulse bei Eiern  
mit Inhalt

$y =$  Meßzeit ( $\text{Min} \times 10^{-3}$ ) für 50000  
Rückstreuungspulse bei Eiern  
ohne Membrane und ohne Inhalt

Alle Werte sind Durchschnittswerte  
von 4 markierten Punkten am Äquator  
eines Eies bezogen auf einen Stan-  
dard (Plastikei)



#### Versuch 5:

Die varianzanalytische Auswertung der über den Zeitraum eines Monats wöchentlich einmal (Gruppe 1 - 4) bei 90 Eiern an vier Meßpunkten gewonnenen Beta-Rückstreuungen ergab, daß die jeweiligen Quotienten der Varianzen zwischen innerhalb der Gruppen für keinen Meßpunkt die Signifikanzschwelle  $p = 0,05$  erreichte. Dies bedeutet, daß die wöchentlich am selben Probenmaterial gemessenen Beta-Rückstreuwerte sich nicht signifikant unterscheiden, eine Lagerungsdauer von einem Monat bei Zimmertemperatur also keinen statistisch zu sichernden Einfluß auf die an Voll- oder ermittelte Beta-Rückstreuung ausübt. Dagegen liegen sich gekochte und rohe Eier mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,01$  auseinanderhalten.

## VI. DISKUSSION

Das 1967 von JAMES und RETZER vorgeschlagene Verfahren, die Beta-Rückstreuung als Kriterium zur zerstörungsfreien Beurteilung der Eischalenstabilität heranzuziehen, befindet sich noch im Versuchsstadium. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Überprüfung der Brauchbarkeit dieser Methode zur Klassifizierung von Eiern hinsichtlich deren Schalenqualität. Im Zusammenhang damit wurden Einflüsse der geometrischen Beschaffenheit des Rückstreumaterials, Beziehungen zwischen der an verschiedenen Punkten bei Eiern ermittelten Beta-Rückstreuung und verschiedenen Eischalenqualitätsmerkmalen sowie die Beeinflussung der am Vollei gemessenen Beta-Rückstreuwerte durch Einhalt und -membrane untersucht. Die im vorigen Kapitel beschriebenen Meßergebnisse und daraus abzuleitenden Schlußfolgerungen werden nachstehend kurz kommentiert und mit den bisher in der Literatur publizierten Angaben verglichen.

### A. Zur Optimierung der Meßanordnung

Die Beta-Rückstreurrate ist abhängig von der Energie und Aktivität des verwendeten Beta-Strahlers, vom Flächengewicht, der elementaren Zusammensetzung und der geometrischen Beschaffenheit des Rückstreumaterials sowie von einer Reihe gerätebedingter Faktoren. Um mit Hilfe der Beta-Rückstreutechnik Flächengewichtsdifferenzen in der bei Eischalen vorkommenden Größenordnung zwischen 40 und 80 mg/cm<sup>2</sup> erfassen zu können, sind Beta-Partikel erforderlich, deren Energie so groß ist, daß in dem genannten Bereich noch keine Sättigungsrückstreuung erfolgt. Für das als Beta-Quelle verwendete Tochternuklid von <sup>90</sup>Strontium (<sup>90</sup>Yttrium) tritt gesättigte Rückstreuung erst bei einer Massenbeladung von mehr als 200 mg/cm<sup>2</sup> auf. Gegenüber dem von

JAMES und RETZER (1967) als Strahlenquelle eingesetzten  $^{106}\text{Ru}$  -  $^{106}\text{Rh}$  besitzt  $^{90}\text{Sr}$  -  $^{90}\text{Y}$  den Vorteil einer rund 30mal längeren physikalischen Halbwertszeit (28 Jahre) sowie eine etwas größere Sensitivität hinsichtlich Änderungen im unteren Flächengewichtsbereich.

Die Verwendung eines Plastikscintillationsdetektors bzw. von Halbleiterdetektoren (VOISEY und JAMES, 1970) anstelle von Geiger-Müller-Zählrohren mit begrenztem Auflösungsvermögen (JAMES und RETZER, 1967) bewirkt eine Verbesserung der Zählausbeute bzw. gestattet den Einsatz von Beta-Quellen höherer Aktivität. Dies ermöglicht kürzere Meßzeiten und damit einhergehend eine Erhöhung des pro Stunde zu bewältigenden Probenumfangs.

Eine Gegenüberstellung bisher publizierter Daten, die Impulsrate der an Eiern gemessenen Beta-Rückstreuung betreffend, ergibt folgendes Bild:

1. JAMES und RETZER (1967)  
 $10\ \mu\text{Ci}\ ^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$ ,  
 Geiger-Müller-Zählrohr  $\approx 50\ 000\ \text{Imp}/15\ \text{sec}$
2. HUNTON (1969)  
 Leihgerät von JAMES wie unter 1.  $\approx 100\ 000\ \text{Imp}/50\ \text{sec}$
3. VOISEY und JAMES (1970)  
 Meßplatz 1:  
 $12,6\ \mu\text{Ci}\ ^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ,  
 Halbleiterdetektor  $\approx 1\ 700\ 000\ \text{Imp}/60\ \text{sec}$   
 Meßplatz 2:  
 $10\ \mu\text{Ci}\ ^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$ ,  
 Geiger-Müller-Zählrohr  $\approx 30\ 000\ \text{Imp}/60\ \text{sec}$

Die Beta-Rückstreuwerte werden in der vorliegenden Arbeit nicht in Impulsen pro Zeit, sondern als reziproker Wert dazu in Zeiteinheiten pro Impulszahl angegeben. Dies hat den Vorteil, daß bei einer jeweils vorgewählten Impulszahl die Zerfallstatistik immer im selben Genauigkeitsbereich liegt und die

Ergebnisse unter Berücksichtigung der Zählstatistik nur bis auf die jeweils signifikante Stelle ausgedruckt zu werden brauchen, was die Weiterverarbeitung der Daten erheblich erleichterte. Die in diesen Versuchen bei Beta-Rückstreuemessungen am Äquator von Hühnereiern benötigte Meßzeit pro 50 000 Rückstreuimpulse lag je nach verwendetem Zählgerät zwischen 0,14 Minuten (ca. 8,4 sec) und 0,6 Sekunden. Inwieweit durch Veränderung der Verstärkung, der Eingangsschwelle sowie des Abstands zwischen Beta-Quelle und Detektor die Beta-Rückstreurrate zu beeinflussen ist, geht aus den in Tabellen 4-8 zusammengefaßten Meßergebnissen hervor. Bei den uns zur Verfügung stehenden Zählgeräten ließ sich deutlich zeigen, daß Schnelligkeit des Meßvorgangs mit geringerer Sensitivität verbunden war. Um bei Serienuntersuchungen Meßzeiten unter 1 sec pro 50 000 Impulse zu erreichen, ohne daß die Sensitivität hinsichtlich Flächengewichtsveränderungen nachläßt, sind Strahlenmeßgeräte mit sehr hohem Auflösungsvermögen erforderlich.

#### B. Zur Beta-Rückstreuung an Hühnereiern

Die unter den jeweiligen Meßbedingungen an verschiedenen Stellen des unversehrten Hühnereies gemessene Beta-Rückstreuung ist eine Resultante aus drei Komponenten. Folgende Eibestandteile von unterschiedlichem Flächengewicht tragen dazu mit jeweils verschiedenen Rückstrefaktoren (elementare Zusammensetzung) bei:

1. Die Eischale,
2. die Eimembrane und
3. der Eiinhalt, der stets in "unendlicher" Schicht (Sättigungsbereich) vorliegt.

Der auf die Eimembrane und den -inhalt zurückzuführende Anteil an der Gesamt-Beta-Rückstreuung ist je nach Flächengewicht des der Strahlenquelle nächstgelegenen Rückstrematerials (Eischale)

unterschiedlich groß, wie aus Vergleichsmessungen an Eiern mit und ohne Inhalt bzw. Membrane hervorgeht (Abb. 2 und 3). Das Varianzverhältnis der Beta-Rückstreuung zwischen Eiern und innerhalb von Eiern ist bei Eiern ohne Inhalt gegenüber Volleiern um den Faktor 4 größer (siehe Seite 23). Differenzen des Eischalenflächengewichts werden demnach durch Beta-Rückstreuungsmessungen am Vollei nicht mit derselben Empfindlichkeit erfaßt wie an Eiern nach Entfernung des Einhalts. In Anbetracht dessen spricht der von HAMMERLE (1969) vorgebrachte Einwand, daß durch die unterschiedliche elementare Zusammensetzung des Eischalenflächengewichts mit nicht determinierbaren Interaktionen zu rechnen sei, eine untergeordnete Rolle, wenn man zuzüglich das Gewichtsverhältnis zwischen organischer und anorganischer Substanz bei Eischalen berücksichtigt, das unter praktischen Gegebenheiten in erster Linie von der anorganischen Substanz bestimmt wird, deren Rückstreufaktor auf Grund der höheren Ordnungszahl von Calcium erheblich über dem der organischen Bestandteile liegt. Zur Steigerung der Sensitivität hinsichtlich Änderungen des Eischalenflächengewichts wären daher je nach Meßanordnung für die an unversehrten Eiern bestimmten Beta-Rückstreuwerte entsprechende Korrekturgleichungen zu erarbeiten.

In Übereinstimmung mit den in der Literatur vorliegenden Angaben (WILSON et al., 1968) lassen sich die in diesen Versuchen an verschiedenen Meßpunkten von Volleiern gemessenen Beta-Rückstreuwerte ihrer Größe nach wie folgt ordnen:

Die Meßzeit pro Anzahl Rückstreuimpulse ist im Durchschnitt an den Äquatorialstellen kürzer als am spitzen Pol und am stumpfen Pol am längsten (Tabelle 10). Die zwischen den einzelnen Meßpunkten ermittelten Differenzen der Beta-Rückstreuwerte sind z.T. auf unterschiedliche Krümmung (siehe Tab. 7 und 8), teil-

weise auch auf geringere Eischalenflächengewichte an den Polen sowie auf die meist am stumpfen Pol befindliche Luftblase zurückzuführen. Auch die zwischen Äquatorialbereich und den Polen bestehenden Unterschiede hinsichtlich des Variationskoeffizienten der Beta-Rückstreuung werden mit Sicherheit nicht ausschließlich durch die größere Variabilität der Eischalendichte an den Polen, sondern z.T. durch geometriebedingte Faktoren verursacht. Obgleich auf Grund der stärkeren Krümmung am spitzen Pol die längsten Meßzeiten zu erwarten wären, wurden diese in der Mehrzahl der Fälle am stumpfen Pol wegen der dort liegenden Luftblase festgestellt. Aus diesem Grund dürften unterschiedliche Eischalenflächengewichte am stumpfen Pol mit größerer Empfindlichkeit durch die Beta-Rückstreutechnik nachzuweisen sein als am Äquator.

Unterschiedliche Variabilität der Eischalendichte an verschiedenen Punkten sowie uneinheitliche Krümmungsverhältnisse an den Polen beeinflussen auch die in Tabelle 9 aufgeführten Korrelationskoeffizienten zwischen Beta-Rückstreuwerten an verschiedenen Meßstellen. Innerhalb des Äquatorialbereichs sind die Beziehungen von Meßpunkt zu Meßpunkt erwartungsgemäß enger ( $r = 0,86$ ) als zwischen Äquator und Polen ( $r = 0,45$  bis  $0,51$ ) bzw. zwischen den Polen ( $r = 0,45$ ), was die Angaben von WILSON et al. (1968) bestätigt.

Betrachtet man die in Tabelle 14 enthaltenen Wiederholbarkeitskoeffizienten für die an verschiedenen Meßpunkten ermittelten Beta-Rückstreuwerte, so zeigt sich, daß die Reproduzierbarkeit an den Polen im allgemeinen deutlich besser ist als an den Äquatorialpunkten. Während bei den Eiern der Serie 1 die Wiederholbarkeit an den Polen mit  $r = 0,93$  bis  $0,95$  als gut, an den Äquatorialpunkten mit  $r = 0,84$  bis  $0,87$  noch als befriedigend zu bezeichnen ist, sind die an den Eiern der Serie 2 und 3 entsprechend ermittelten Wiederholbarkeitskoeffizienten ungenügend.

Ob die Korrelationen der Beta-Rückstreuung zwischen 2 Eiern derselben Hennen wegen der geringen Wiederholbarkeit der Meßwerte innerhalb desselben Probenmaterials so schwach sind und in Wirklichkeit höher liegen, läßt sich auf Grund der vorliegenden Informationen nicht entscheiden. Die schlechte Wiederholbarkeit der Meßdaten bei den Eiern der Serie 2 und 3 ist möglicherweise auf nicht erkannte Verschiebungen der Eingangsempfindlichkeit des für sehr kurze Meßzeiten eingestellten Geräts zurückzuführen.

Ein bislang noch nicht befriedigend gelöstes Problem, das bei Untersuchungen über einen längeren Zeitraum die vergleichende Auswertung der Meßdaten erschwert, sind von der Konstanz der Hochspannung abhängige Schwankungen der Beta-Rückstreu-Eichwerte. Um derartige, vom Gerät her bedingte Abweichungen auszugleichen, müssen sämtliche Meßwerte mit einem Standard verglichen werden, der als Bezugssystem dient.

#### C. Beziehungen zwischen den an Hühnereiern gemessenen Beta-Rückstreuwerten und anderen Eischalenqualitätskriterien

Über die Korrelation der Beta-Rückstreuung an Eiern und anderen Eischalenqualitätsmaßstäben liegen in der Literatur nur wenige und nicht immer übereinstimmende Angaben vor (siehe Tabelle 2). Von JAMES et al. (1967) wird mitgeteilt, daß die am Äquator gemessenen Beta-Rückstreuwerte zur Eischalendicke mit  $r = 0,61$ , zum spezifischen Gewicht jedoch nur mit  $r = 0,28$  korreliert sind. Der letztgenannte Wert erscheint recht niedrig, wenn man die engen Beziehungen zwischen Eischalenflächengewicht und spezifischem Gewicht einerseits ( $r = + 0,91$ ) und zwischen Eischalenflächengewicht und Beta-Rückstreuung andererseits ( $r = 0,83$ ) berücksichtigt. Auch die Angaben hinsichtlich der Beziehungen

zwischen destruktiven Eischalenstabilitätsmerkmalen und den Beta-Rückstreuwerten differieren nicht unerheblich. Während sich aus den Versuchen von JAMES et al. (1967) eine Korrelation von  $r = 0,84$  zwischen "impact-test" und Beta-Rückstreuung ergab, war diese zur Bruchfestigkeit nur mit  $r = 0,34$  korreliert (HUNTON, 1969), was sich mit den Befunden in der vorliegenden Arbeit deckt (Tabelle 12). Die im Vergleich zu den Angaben anderer Autoren in Tabelle 11 und 12 entgegengesetzte Vorzeichen aufweisenden Korrelationskoeffizienten zwischen Beta-Rückstreuung und verschiedenen Eischalenqualitätsmerkmalen rühren daher, daß die jeweils zugrundeliegenden Beta-Rückstreuwerte sich reziprok verhalten.

Im Ganzen betrachtet ist die an unversehrten Eiern ermittelte Beta-Rückstreuung erwartungsgemäß am engsten mit dem Eischalenflächengewicht korreliert ( $r = 0,83$  bis  $0,86$ ), während zur Bruchfestigkeit anscheinend nur schwache Beziehungen ( $r \approx 0,40$ ) bestehen, obgleich die beiden letztgenannten Merkmale nach TUNG et al. (1968) recht gut miteinander korreliert sind ( $r = 0,84$ ). Nach Resultaten von HUNTON (1968) war es nicht möglich, die zwischen verschiedenen Hennen-Linien mit Hilfe von Bruchfestigkeitsmessungen festgestellten Differenzen anhand der Beta-Rückstreuwerte statistisch zu sichern. Eigenen Ergebnissen zufolge lassen sich ebenfalls nur größere Bruchfestigkeitsunterschiede mit der bislang verwendeten Beta-Rückstreumeßanordnung erkennen (Tabelle 13). Zur Aussortierung von Eiern einer Schalenbruchfestigkeit unter 2,5 und über 3,5 kg ist das Beta-Rückstreuverfahren jedoch brauchbar. Verglichen mit anderen zerstörungsfreien Methoden zur Beurteilung der Eischalenstabilität ist die Beta-Rückstreutechnik bei geringerer Sensitivität schneller und besitzt die Möglichkeit zur Automatisierung, womit die prinzipiellen Voraussetzungen für einen routinemäßigen Einsatz in Verbindung mit Sortiermaschinen erfüllt sind.

## VII. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird die Rückstreuung energiereicher Beta-Partikel auf ihre Brauchbarkeit zur Beurteilung der Eischalenqualität geprüft.

1. Unter Verwendung eines  $^{90}\text{Strontium-}^{90}\text{Yttrium}$ -Präparates von 0,1 mCi als Beta-Quelle in Verbindung mit einem Plastikscintillationsdetektor betrug die an verschiedenen Stellen unversehrter Eier gemessene Zeit pro 50 000 Rückstreuimpulse je nach Einstellung des Zählgeräts 0,5 bis 8,4 Sekunden, wobei einer weiteren Verkürzung der Meßzeit im Hinblick auf die Sensitivität apparative Grenzen (Auflösevermögen) gesetzt waren.
2. Die Wiederholbarkeit der Beta-Rückstreuemessungen lag für 171 Eier der Serie 1 an den Polen zwischen 0,93 und 0,95 und am Äquator um 0,86, hingegen für je 339 Eier der Serie 2 und 3 an allen Meßpunkten bei anderer Geräteeinstellung wesentlich tiefer.
3. Die an verschiedenen Stellen von 1042 Eiern gemessenen Beta-Rückstreuwerte sind im Äquatorialbereich mit  $r = 0,86$ , zwischen Äquator und den Polen ( $r = 0,45$  bis  $0,51$ ) sowie zwischen den Polen ( $r = 0,45$ ) erwartungsgemäß weniger eng korreliert (Informationsgewinn durch Polmessungen).
4. Der Variationskoeffizient der Beta-Rückstreuwerte liegt je nach Meßstelle am Ei mit 4 bis 7 % wesentlich unter dem der Eischalenbruchfestigkeit (24 %).
5. Die Geometrie des Rückstreumaterials (unterschiedliche Krümmung) ist nicht ohne Einfluß auf die Beta-Rückstreuung.

6. Eihalt und -membrane beeinflussen je nach Eischalenflächengewicht die am Vollei gemessene Beta-Rückstreuung in unterschiedlichem Maße; wird dies berücksichtigt, sind Differenzen des Eischalenflächengewichts durch Beta-Rückstremessungen mit größerer Empfindlichkeit zu erfassen. Zwischen den Meßzeiten (in Min  $\times 10^{-3}$ ) für 50 000 Rückstreuimpulse an Eiern mit (x) und ohne Inhalt (y) hat sich als Näherungslösung folgende Beziehung ergeben:  
$$y = 3,445 x - 289,3.$$
7. Eine 30tägige Lagerung von Frischeiern bei Zimmertemperatur veränderte die in wöchentlichen Abständen an Volleiern gemessenen Beta-Rückstreuwerte nicht signifikant.
8. Die an 171 Volleiern gemessene Beta-Rückstreuung war zum Eischalenflächengewicht mit  $r \approx 0,80$  am engsten korreliert, während zur Schalenbruchfestigkeit mit  $r \approx 0,40$  nur schwache Beziehungen bestehen ( $n > 1500$ ).
9. Mit der benutzten Meßanordnung war es möglich, nach Bruchfestigkeitsklassen sortierte Eier ( $n = 300$ ) auch anhand der Beta-Rückstreuung zu unterscheiden, wobei die Grenzdifferenz im mittleren Bruchfestigkeitsbereich bei 1,0 kg lag.
10. Eine zerstörungsfreie Klassifizierung der Eischalenqualität hinsichtlich des in erster Linie von der mineralischen Substanz abhängigen Flächengewichts ist mit Hilfe der Beta-Rückstreutechnik in Verbindung mit geeigneten Sortiermaschinen auch routinemäßig möglich.

# VIII. LITERATURVERZEICHNIS

- AKAPINAR, C., und RAUCH, W. (1969):  
Korrelationen zwischen Bruchkraft, elastischer Verformbarkeit,  
Schalendicke, Schalenporosität und spezifischem Gewicht von  
Hühnereiern.  
Arch.Geflügelkde. 33, 66-76
- ANDERSON, G.B , CARTER, T.C. und MORELY, J.R. (1970):  
Some factors affecting the incidence of cracks in hens eggshells.  
Poultry Sci. 11, 103-116
- BOWMANN, T.C., und CHALLENDAR, N.I. (1963):  
Eggshell strength: A comparison of two laboratory tests and  
fields results.  
Brit.Poultry Sci. 11, 103-116
- BROOKS, J., und HALE, H.P. (1955):  
Strength of the shell of hen's egg.  
Nature Lond. 175, 848-849
- CARTER, T.C. (1970):  
Why do the eggshells crack.  
Wld's Poultry Sci. J. 26, 2, 549-561
- GRUHN, R., und TSCHAMI, D.B. (1966):  
Die Deformation des Eies als Maßstab der Schalenbeschaffenheit.  
Arch.Geflügelkde. 30, 91-98
- HAMMERLE, J.R. (1969):  
An engineering appraisal of eggshell strength evaluation techniques.  
Poultry Sci. 48, 1708-1717
- HUNT, J.R., und VOISEY, P.W. (1966):  
Physical properties of eggshell:  
I. Relationship of resistance to compression and force at  
failure of eggshells.  
Poultry Sci. 45, 1398-1404
- HUNTON, P. (1969):  
The measurement of eggshell strength: A comparison of  
four methods.  
Brit. Poultry Sci. 10, 281-289

- JAMES, P.E., und RETZER, H.J. (1967):  
Measuring eggshell strength by betabackscatter technique.  
Poultry Sci. 46, 1200-1203
- JAMES, P.E., RETZER, H.J., und PRESSLY, R.S. (1967):  
Beta-backscatter: A method of measuring eggshell strength.  
Presentation at 1967 winter meeting, Dec. 12 - 15.  
Amer.Soc. of Agric. Angn., Detroit, Michigan.  
Paper 67, 887
- NOVIKOFF, M., und GUTTERIDGE, H.S. (1949):  
A comparison of certain methods of estimating shell strength.  
Poultry Sci. 28, 339-343
- PETERSEN, J. (1969):  
Untersuchungen zur Methodik der Eischalenstabilitätsbeurteilung  
unter besonderer Berücksichtigung der Deformation.  
Landw. Diss., Berlin
- RAUCH, W. (1958):  
Vergleichende Untersuchungen zur Qualitätsprüfung von Frisch-  
eiern.  
Arch.Geflügelkde. 22, 74-104
- RAUCH, W. (1960):  
Technologische Eiqualitätsmerkmale.  
Proceedings of first European Poultry Conference, S. 17-37
- RAUCH, W. (1965):  
Die elastische Verformung von Hühnereiern als Maßstab für  
die Beurteilung der Schalenstabilität.  
Arch.Geflügelkde. 29, 467-477
- RICHARDS, J.F., und STALEY, L.M. (1967):  
The relationship between crushing strength, deformation and  
other physical measurements of the hens egg.  
Poultry Sci. 46, 430-437
- ROMANOFF, A.L., und ROMANOFF, A.J. (1949):  
The Avian egg.  
Verlag John Willy & sons Inc., New York
- SCHOORL, P., und BOERSMA, H.Y. (1962):  
Research on the quality of eggshells. A new method of defor-  
mation.  
12. Wld's Poultry Congr. Proc. Sydney, 432-435

SHRIMPSON, D.H., und HANN, C.M. (1967):

Shell deformation in predicting breakage due to transport and handling.

Brit. Poultry Sci. 8, 317-320

SCHOLTYSSSEK, S. (1968):

Handbuch der Geflügelproduktion.

Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

SIEWERT, E., und BRONSCH, K. :

Eischale und Zusammensetzung des Eies.

Handbuch für Tierernährung, Bd. II

Verlag Paul Parey, Berlin (im Druck)

SLUKA, S.J., BESCH, E.L., und SMITH, A.H. (1965):

A hydrostatic tester for eggshell strength.

Poultry Sci. 44, 1494-1500

SWENSON, T.L., und JAMES, L.H. (1932):

Oiling does not make shell eggs more brittle.

U.S. Egg Poultry Mag., 38 (11), 14-16, 58

THORNBOR Bros. Ltd. (1960):

Persönliche Mitteilung,

zitiert nach TYLER, C. (1961),

Poultry Sci. 2, 3-18

TUNG, M.A., STALEY, L.M., und RICHARDS, J.F. (1968):

Studies on eggshell strength, shell stiffness, shell quantity, egg size and shape.

Brit. Poultry Sci. 9, 221-229

TYLER, C. (1961):

Shell strength. Its measurements and its relation to other factors.

Brit. Poultry Sci. 2, 3-18

TYLER, C., und GEAKE, F.H. (1960):

Studies on eggshells. XIII. Influence of individuality, breed and season, on certain characteristics of eggshells.

J. Sci. Fd. Agric. 11, 535-547

TYLER, C., und GEAKE, F.H. (1964):

The testing of methods for crushing eggshells, based on paired readings from individual eggs and measurement of some effect of various treatments.

Brit. Poultry Sci. 5, 19-28

VOISEY, P.W., und JAMES, P.E. (1970):  
Factors affecting the performance of Backscatter eggshell  
measurements.  
Canad. Agric. Engn. 12, 48-51

WELLS, R.G. (1967 a):  
Eggshell strength I: The relationship between egg breakage  
in field and certain laboratory assessment of shell strength.  
Brit. Poultry Sci. 8, 131-139

WELLS, R.G. (1967 b):  
Eggshell strength II: The interrelationship between egg specific  
gravity and eggshell deformation and their reliability as indi-  
cators of shell strength.  
Brit. Poultry Sci. 8, 193-199

WELLS, R.G. (1968):  
Egg quality. A study of hen's egg.  
Edited by T.C. CARTER, Part IV, 207-225  
Verlag Oliver and Boyd, Edinburgh

WEBER, E. (1967):  
Grundriß der Biologischen Statistik. 6. Auflage.  
Gustav Fischer Verlag, Jena.

WILSON, S.P., MARKS, H.C., und JAMES, P.E. (1968):  
Association among betabackscatter measurements and other  
measures of shell strength.  
Poultry Sci. 47, 232-237



Herrn Professor Dr. K. Bronsch danke ich aufrichtig für die mir gewährte Arbeitsmöglichkeit am Institut.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. K. Lörcher für die Überlassung des Themas, die fachliche Beratung und Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Versuche sowie bei der Durchsicht der Arbeit.

Dank schulde ich ebenso Herrn Diplom-Landwirt Dr.habil. D. K. Flock von der Firma Lohmann & Co., Cuxhaven, für die Überlassung eines Teils des Versuchsmaterials und die statistische Bearbeitung einiger Meßdaten.

Außerdem ist es mir ein Anliegen, Herrn Diplom-Kaufmann Dr. H. Weiß für die statistische Auswertung des umfangreichen Zahlenmaterials zu danken.

Allen Mitarbeitern des Instituts, insbesondere Frau I. Grosser, die durch ihre freundliche Hilfsbereitschaft meine Arbeit unterstützten, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.



## Lebenslauf

Am 4. März 1934 wurde ich als Sohn des Sanskritgelehrten Anant Ram Lugani und seiner Frau Savitri geb. Narang in Sharakpura (Indien) geboren.

Von 1939 bis 1947 besuchte ich die Regierungsschule in Kasur (Bez. Lahore) bis zur Bildung eines unabhängigen Staates Pakistan. Im September 1947 kam ich nach Ferozpur (Indien), wo ich im August 1948 die "Matrikulationsprüfung" ablegte.

Nachdem ich 1951 die "Faculty of Science" (Medical group) bestanden hatte, besuchte ich das College of Veterinary Science and Animal Husbandry, Hissar, wo mir im Juni 1956 der Titel "B.V.Sc. and A.H." verliehen wurde.

Ab Juni 1956 bis 1965 war ich als Leiter verschiedener Tierkliniken in Indien tätig. Im Januar 1966 reiste ich in die Bundesrepublik Deutschland und war dort bis einschließlich Juni 1968 als Assistent in vier verschiedenen Großtierpraxen tätig. Seit Juli 1968 bis März 1970 übte ich meine Tätigkeit in einer Kleintierpraxis in Berlin aus.

Im Sommersemester 1970 und Wintersemester 1970/71 war ich am Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin immatrikuliert.

Am 13. Juli 1971 wurde mir die Bestallung als Tierarzt ausgehändigt.

Seit November 1970 arbeite ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tierzucht und Tierernährung.





